



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE  
ARGAMASSAS COM INCORPORAÇÃO DE VIDRO MOÍDO ORIUNDO  
DE GARRAFAS *LONG NECK***

Tailine Luísa Schuster

Lajeado, novembro de 2020

Tailine Luísa Schuster

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE  
ARGAMASSAS COM INCORPORAÇÃO DE VIDRO MOÍDO ORIUNDO  
DE GARRAFAS *LONG NECK***

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa Ma. Débora Pedroso Righi

Lajeado, novembro de 2020

Tailine Luísa Schuster

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE  
ARGAMASSAS COM INCORPORAÇÃO DE VIDRO MOÍDO ORIUNDO  
DE GARRAFAS *LONG NECK***

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Profa. Ma. Débora P. Righi Köhler - orientadora  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Profa. Ma. Carolina Becker Porto Fransozi  
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Profa. Dra. Bruna Horta Bastos Kuffner  
Universidade Federal de Itajubá - Unifei

Lajeado, 16 de novembro de 2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Luis Jorge e Rosane pelo apoio e incentivo durante toda a minha caminhada estudantil e principalmente pela compreensão nos momentos árdusos durante a graduação. Agradeço também ao meu companheiro Leonardo, pela cumplicidade, motivação e por sempre acreditar e contribuir com os meus sonhos. Este trabalho é dedicado a vocês.

Agradeço à minha orientadora Ms. Débora Pedroso Righi por toda a dedicação e transparência durante a orientação desta pesquisa, mesmo que de forma remota, esteve sempre disponível para ajudar e compartilhar do seu conhecimento. Gratidão pelas palavras de apoio e por acreditar no meu potencial.

Agradeço aos meus amigos Gabriel Fischer, William Krohn e Lucas Cuppini por terem contribuído com a coleta das garrafas do tipo *long neck* não-retornáveis para que fosse possível realizar este estudo.

Agradeço à Amanda, Viane e Henrique, colegas de curso e funcionários do LATEC por todo o auxílio prestado quando surgiam dúvidas quanto à utilização das aparelhagens necessárias do laboratório.

Por fim, agradeço às minhas colegas de curso e amigas Michele, Kátia, Fabiele, Jéssica, Ana Caroline e Petra por estarem presentes durante toda a caminhada, tornando-a menos árdua e mais divertida. Vocês são muito especiais e quero tê-las sempre ao meu lado.

## RESUMO

Uma grande desvantagem relacionada ao crescimento da construção civil está diretamente ligada ao consumo excessivo de matérias-primas finitas existentes no meio-ambiente. Desta forma, cada vez mais se torna necessário repensar as tecnologias construtivas existentes a fim de melhorá-las através de mecanismos de redução de energia ambiental e também através da reutilização de resíduos sólidos, com o objetivo de gerar uma nova destinação aos mesmos que não sejam em lixões ou aterros sanitários. Neste sentido, o presente trabalho visou apresentar uma solução à este problema, adicionando à misturas de argamassas vidro moído proveniente de garrafas do tipo “*long neck*” nos teores de 0%, 10%, 20% e 30% em substituição ao agregado miúdo natural. O objetivo foi analisar o comportamento mecânico das mesmas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, através de ensaios de: índice de consistência, densidade de massa, absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e por fim, determinar através do ensaio de Índice de Desempenho aos 28 dias se o vidro moído influenciou na atividade pozolânica das misturas. Com relação aos resultados, a pesquisa concluiu que o teor de 10% pode ter atingido um valor ideal de substituição, visto que os teores de 20% e 30% não demonstraram ganhos de resistência em relação ao traço de referência. Isto ocorreu devido à maior presença de poros na matriz, o que influencia diretamente na durabilidade do produto final. Por fim, em relação ao ensaio de índice de desempenho aos 28 dias, o mesmo indicou inexistência de atividade pozolânica do pó de vidro para o módulo de finura utilizado.

**Palavras-chave:** Argamassa. Agregado miúdo. Vidro moído. Comportamento mecânico.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
1.1 Problema de pesquisa	6
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo geral	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificativa da pesquisa	7
1.4 Estrutura do trabalho	8
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
2.1 Utilização de resíduos em concretos/argamassas	10
2.2 O vidro e sua utilização na construção civil	11
2.2.1 Vidro moído de garrafas long neck	13
2.2.2 Avanços nas pesquisas com a utilização de vidro moído em concretos/argamassas	14
2.2.3 Propriedades que limitam o uso a utilização do vidro moído em concretos/argamassas	20
2.2.3.1 Índice de desempenho aos 28 dias	21
2.2.3.2 Reação álcali agregado	24
2.2.3.3 Granulometria do resíduo de vidro	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1 Estratégia de Pesquisa	27
3.2 Materiais	29
3.2.1 Cimento	30
3.2.2 Agregado Miúdo	30
3.2.2.1 Determinação granulométrica	30
3.2.2.2 Determinação da massa específica e massa unitária	33
3.2.3 Água de amassamento	34
3.2.4 Vidro moído	35

3.2.4.1 Processo de moagem do vidro	37
3.2.4.2 Determinação da granulometria do vidro moído	37
3.2.4.3 Determinação da massa específica e da massa unitária do vidro moído	40
3.3 Programa experimental	43
3.3.1 Ensaios no estado fresco da argamassa	44
3.3.1.1 Índice de consistência	44
3.3.1.2 Densidade	45
3.3.1.3 Moldagem dos corpos de prova	46
3.3.2 Ensaios no estado endurecido da argamassa	47
3.3.2.1 Índice de desempenho	48
3.3.2.2 Resistência à tração na flexão	50
3.3.2.3 Resistência à compressão axial	51
3.3.2.4 Capilaridade	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Ensaio de Índice de desempenho aos 28 dias	54
4.2 Índice de consistência	55
4.3 Densidade	57
4.4 Absorção de água por capilaridade	58
4.5 Ensaio de resistência à tração na flexão	60
4.6 Ensaio de resistência à compressão	61
5 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	66

## 1 INTRODUÇÃO

A economia verde surgiu com a ideia de desenvolvimento econômico sustentável através do maior discernimento ecológico por parte das empresas e sociedade. À vista disso, têm-se a definição de desenvolvimento sustentável através do documento “*Our Common Future*” publicado em 1987. Neste, especifica-se que o desenvolvimento “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.” Logo, existe a responsabilidade de ponderar os métodos produtivos atuais, para que não haja interferências negativas e carência de recursos naturais para as próximas gerações (BERMANN; DINIZ, 2012).

Segundo Pinto *et. al* (2005), o ramo da construção civil é considerado um dos mais promissores da organização social e econômica do país, gerando lucros e empregos à população. Todavia, o mesmo é visto como um enorme potencial poluidor e gerador de impactos ambientais, seja pelo consumo energético ambiental ou pela produção de resíduos. Desta forma, é necessário repensar a destinação adequada tanto para os resíduos gerados pela construção quanto para os resíduos gerados por outras atividades econômicas.

Além do dito acima, sabe-se que a produção de clínquer e consequentemente do cimento Portland é altamente poluente, sendo ela a responsável pela emissão de diversos gases tóxicos à atmosfera, tendo o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) como o principal deles (SALES, 2014). Em tese, as altas concentrações de CO<sub>2</sub> na



atmosfera podem estar desalinhando o equilíbrio entre a biosfera e os oceanos, gerando o aumento das temperaturas da Terra e contribuindo de forma negativa com o efeito estufa.

Segundo Sales (2014), diante deste cenário, em função da alta taxa poluitiva da construção civil, diversos membros da comunidade científica têm realizado pesquisas envolvendo materiais pozolânicos que possam estar substituindo certos teores de cimento Portland e/ou agregados naturais na produção do concreto. Os principais estudos dizem respeito àquelas materiais que não são biodegradáveis e que não apresentam destinação final coerente com o desenvolvimento sustentável, pois assim, reduz-se os despejos em aterros sanitários e ainda, contribui-se positivamente com as propriedades mecânicas do concreto e modera-se a utilização do cimento Portland e/ou agregados naturais.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), o vidro é classificado como um material cerâmico, inerte e não biodegradável. Desta forma, apresenta-se como sendo um material alternativo para realizar substituições/adições em misturas cimentícias.

Sabe-se ainda que, materiais vítreos são ricos em sílica. Esta por sua vez, tem o potencial de melhorar propriedades e questões de durabilidade de concretos e argamassas. O vidro em forma de pó é capaz de apresentar atividade pozolânica e contribuir positivamente com o índice de desempenho aos 28 dias, melhorando e efetivando as propriedades mecânicas das misturas, sendo o foco deste estudo (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

### **1.1 Problema de pesquisa**

Realizou-se o estudo da incorporação de vidro moído/pó de vidro através da moagem de garrafas da classe *long neck* em substituição a diferentes percentuais de agregado miúdo natural (areia) em argamassas, visando a sua reutilização. A não destinação das mesmas em aterros sanitários implica em redução de impactos ambientais através da menor extração de agregados naturais, assim como gera um

produto final mais sustentável. Desta forma, deseja-se sanar os seguintes questionamentos:

- Qual a porcentagem de substituição do agregado miúdo por vidro moído que apresentará melhores resultados referente à avaliação mecânica em argamassas?
- A moagem do vidro influenciará na reação pozolânica?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas sob a influência de substituições parciais do agregado miúdo por vidro moído provenientes de garrafas do tipo *long neck* em argamassas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a. Avaliar a influência dos percentuais de substituição em 0%, 10%, 20% e 30% em volume do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído;
- b. Avaliar a argamassa em seu estado fresco, através dos ensaios de densidade e índice de consistência;
- c. Analisar a argamassa em seu estado endurecido, através dos ensaios de índice de desempenho aos 28 dias (atividade pozolânica), absorção de água por capilaridade aos 7, 14 e 28 dias e resistência à tração na flexão e à compressão aos 7, 14 e 28 dias.
- d. Avaliar a possível atividade pozolânica exercida do vidro moído estudado.

### 1.3 Justificativa da pesquisa

O vidro é um material abundante no mundo inteiro. Diversos resíduos do mesmo não são retornáveis, como é o caso das garrafas do tipo *long neck*, sendo destinadas a aterros sanitários e lixões, não contribuindo com o desenvolvimento sustentável do meio ambiente.

Ainda, a construção civil é uma das classes que mais utilizam e extraem recursos provenientes do meio ambiente. Diversas pesquisas acerca disso foram e estão sendo realizadas. Dessa forma, nos últimos anos surgiu uma preocupação maior por conta da escassez dos recursos energéticos do planeta.

Visto que o vidro é um material que pode ser reciclado, existem diversas pesquisas que relacionam a adição do resíduo de vidro em misturas cimentícias em substituição tanto do cimento Portland quanto do agregado miúdo natural (areia). Alguns exemplos de autores são: Righi *et al.* (2012), através da produção de concretos com substituição de agregado miúdo por diferentes percentuais de vidro moído submetidos a elevadas temperaturas e Paiva (2010) com a incorporação de resíduo industrial de vidro moído em argamassa utilizando cimento Portland.

Desta forma, a pesquisa se justifica por conta da análise das reações álcali-agregado causadas pelos materiais vítreos e avaliação da função do vidro moído dentro do composto de argamassa, como por exemplo, sendo um material apenas de preenchimento (diminuição de vazios) ou que agrega resistência através da atividade pozolânica.

### 1.4 Estrutura do trabalho

O presente estudo foi estruturado em 5 capítulos. O primeiro capítulo refere-se à introdução dos assuntos que foram desenvolvidos na pesquisa, problema da pesquisa, bem como a justificativa da pesquisa e definição dos objetivos geral e específicos.

O capítulo dois refere-se à revisão bibliográfica. Neste estão inseridos assuntos sobre a utilização e história de resíduos em concretos e argamassas, o vidro como material em composições cimentícias e suas utilizações na construção civil. São apresentados também avanços nas pesquisas utilizando vidro moído por diversos autores bem como as propriedades que limitam a sua utilização em compostos cimentícios. Por fim, ensaios de índice de desempenho aos 28 dias, reação álcali-agregado e granulometria do resíduo de vidro.

O capítulo três está destinado aos processos experimentais da pesquisa, ou seja, a metodologia utilizada nos ensaios, bem como os procedimentos realizados com o objetivo de alcançar os resultados esperados.

O capítulo 4 refere-se aos resultados e discussões da pesquisa.

As conclusões e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 5, evidenciando os aspectos mais importantes que foram observados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Utilização de resíduos em misturas cimentícias**

A partir da Revolução Industrial na década de 1760, houve uma expansão na geração de resíduos sólidos por conta da produção de objetos descartáveis por parte das indústrias. Com isso, os aterros sanitários e lixões começaram a receber vários tipos de resíduos, ocasionando uma preocupação por parte dos órgãos ambientais e governamentais em relação à sustentabilidade do planeta e seu desenvolvimento ao longo dos próximos anos. (VELLOSO, 2008).

Assim, posturas mais responsáveis começaram a ser assumidas em relação à preservação ambiental, contribuindo de forma mais sustentável com o desenvolvimento e crescimento da economia do Brasil e do mundo, salientando que o setor da construção civil é um dos maiores geradores de poluição atmosférica e residual, todavia, é considerado como um setor chave na economia do país e geração de empregos (MINGRONE, 2016).

Devido a este cenário iniciaram-se pesquisas para emprego de diversos resíduos em alguma parte da cadeia produtiva da construção civil ou em substituição parcial de matérias-primas naturais na produção de concretos e argamassas, servindo como parte do agregado, podendo ser miúdo ou graúdo. Alguns exemplos de adições e/ou substituições são: resíduos cerâmicos, cinza da casca de arroz, bagaço da cana-de-açúcar, borracha de pneu, entre outros (CABRAL *et. al.*, 2016).

Segundo Marques (2006), a introdução de resíduos como novos materiais em misturas cimentícias possibilita, além da positiva contribuição com meio ambiente, o ganho de resistência e melhor desempenho da mistura final. Sabe-se, ainda, que as misturas cimentícias são muito utilizadas nas obras de engenharia pelo fato de que dispõem de diversos aspectos positivos, como, por exemplo, a alta durabilidade, facilidade de moldagem e ganho de resistência. Por este motivo, encontram-se em constante estudo.

## **2.2 O vidro e sua utilização na construção civil**

De acordo com Romano (1998), o vidro é um material amplamente utilizado há muito tempo por ser reciclável, amorfo, fisicamente homogêneo e inorgânico. O mesmo atinge uma condição de rigidez elevada através do resfriamento da composição em fusão que se consolida através da elevação da viscosidade.

Porém, Akerman (2000) afirma que, dependendo da composição e do processo de industrialização dos materiais vítreos, os mesmos podem apresentar propriedades distintas. Desta forma, os vidros distinguem-se através da resistência mecânica, densidade, porosidade, impermeabilidade ou densidade.

Mesmo sendo considerado um material frágil, pois apresenta ruptura a deformações mínimas, ele dispõe de uma boa resistência mecânica, desta forma, pode ser usado em compostos para pisos por apresentar rigidez e dureza. Porém, pelo fato de não apresentar relativa tenacidade, não é recomendada a utilização em locais que estão sujeitos a impactos (CALLISTER, 2002).

O vidro é um material derivado da fusão entre a combinação de alguns óxidos inorgânicos, sendo o protagonista deles o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), mais conhecido como sílica. A sílica possui a capacidade de endurecer/enrijecer sem sofrer o processo de cristalização após resfriamento (SICHERI *et. al.*, 2007).

Segundo Ribeiro (2015), devido à sílica ser um dos componentes do material vítreo, diversas pesquisas e estudos apontam que o material, quando utilizado em granulometrias reduzidas em misturas de cimento/argamassa, podem manifestar atividade pozolânica. Ribeiro afirma que, pelo fato de que o vidro pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder ou modificar as suas propriedades, a incorporação do material em misturas cimentícias pode proporcionar a valorização do mesmo, melhorar as condições e propriedades das misturas produzidas de concreto/argamassa e, ainda, reduzir o consumo de matéria-prima natural, como, por exemplo, a areia e de cimento Portland.

Pilkington (2010) afirma que entre as mais significantes propriedades dos vidros encontra-se a durabilidade dos mesmos. Ainda, o autor apresenta os exemplos das igrejas antigas localizadas em diversas cidades do mundo, onde as vidraçarias permaneceram intactas ao passar dos anos.

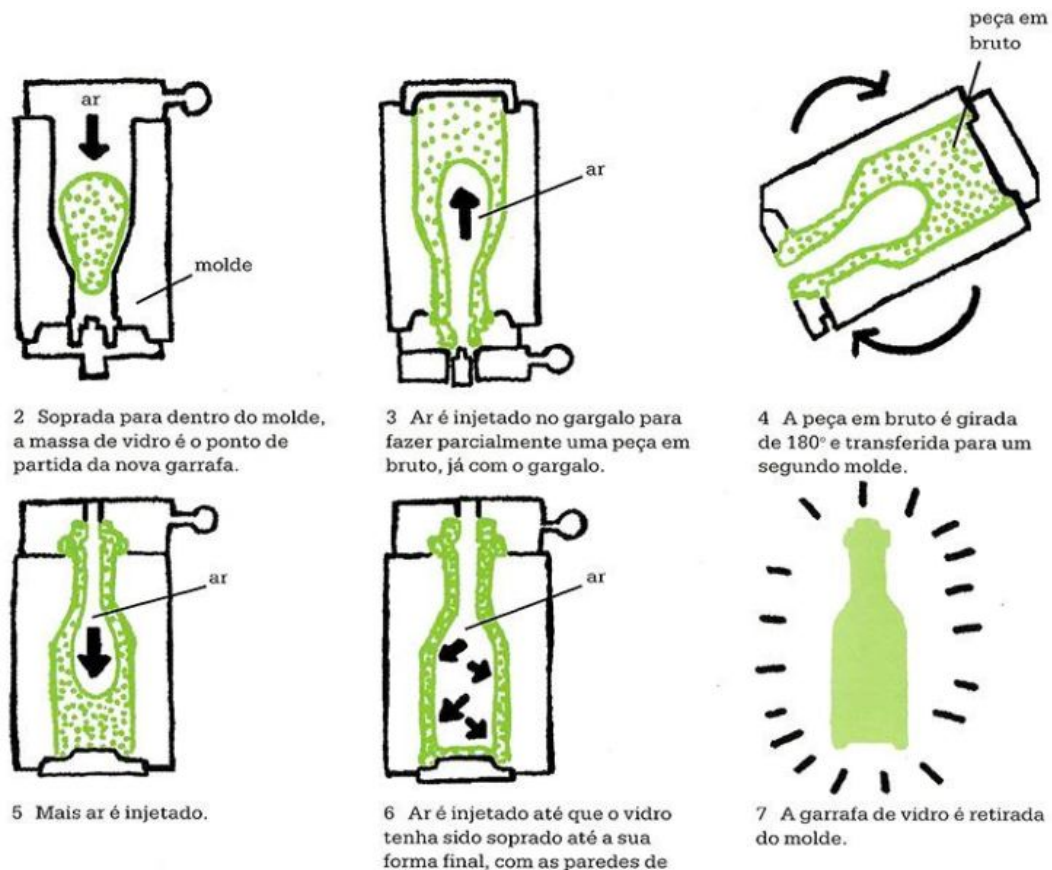
Diversos países já utilizam o resíduo de vidro em substituição ao agregado miúdo das misturas cimentícias, como é o exemplo da Austrália, que reutiliza o resíduo que seria destinado a aterros sanitários em misturas de concreto (CRENTSIL *et al.*, 2001). Porém, no Brasil a utilização de resíduos vítreos ainda é pouco difundida, pois aterros sanitários e lixões ainda se apresentam como alternativas de menor custo financeiro e os recursos naturais para obtenção da matéria-prima são abundantes (RIGHI *et al.*, 2012).

### **2.2.1 Vidro moído de garrafas *long neck***

Para a confecção das garrafas *long neck* o processo inicia com a fusão das matérias-primas a uma temperatura de 1550°C, resultando em uma composição em forma de massa de vidro, após, a mesma deve ser derramada no molde específico, conforme indica a Figura 1. Para a formação do gargalo da garrafa, a injeção de ar no material é a responsável pelo processo. Em seguida, o vidro incorporado ao molde inicial é removido e colocado no outro molde, rotacionando a sua posição em

180° com a seguida injeção de ar para dar forma final ao produto. Por fim, para que haja o alívio de tensões, a garrafa é inserida em forno (DALLAQUA, 2016).

Figura 1 - Processo de moldagem das garrafas de vidro



Fonte: Dallaqua (2016, p. 21).

Segundo Silveira (2016), o vidro das garrafas deve passar pelo processo de moagem para que se obtenha o pó do mesmo para posteriormente ser possível utilizar como parte de agregado em diversas misturas, sendo duas delas o concreto e a argamassa. O pó do vidro pode ser alcançado através da prévia higienização das garrafas para após, passar pelo processo de moagem através da utilização do moinho de bolas e por fim, despejado em peneiras de diferentes aberturas.



### **2.2.2 Avanços nas pesquisas com a utilização de vidro moído em concretos/argamassas**

De acordo com Neville (1997), a resistência mecânica em misturas cimentícias é a principal particularidade quando se trata de compósitos para fins estruturais. Desta forma, já existem diversas pesquisas e estudos relacionados à adição de vidro moído em concretos e argamassas, a fim de proporcionar o aumento das resistências mecânicas das misturas cimentícias. Matos (2010), afirma que a adição de materiais vítreos em concretos e argamassas iniciou na década de 1970, porém, só recentemente obteve apoio e incentivo devido aos empecilhos da destinação final do material.

De acordo com afirmações realizadas por Simões (2013), diversos estudos já apontaram que a melhor forma de utilizar o vidro em adições de concretos e argamassas é na forma de pó e, ainda, que seja utilizado em substituição parcial do cimento Portland. O autor afirma que, quanto mais fino o pó de vidro, mais satisfatória a atividade pozolânica.

Karamberi *et. al.* (2006), pesquisaram e avaliaram a adição de 25% de pó de vidro com tamanhos de partículas menores de 90  $\mu\text{m}$  em misturas cimentícias, com o objetivo de utilizar o resíduo como um material substituto do cimento. Como resultado, foi concluído de que o pó de vidro finamente moído é aceitável e contribuiu com a resistência mecânica à compressão e de atividade pozolânica das misturas.

Pesquisas realizadas por Bardini e Marchioro (2007), previram a substituição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de areia por vidro moído com granulometrias entre 150 $\mu\text{m}$ -30 $\mu\text{m}$ , com o objetivo de reduzir o consumo energético natural e contribuir com uma correta destinação dos resíduos provenientes de vidro. Através dos ensaios de resistência à compressão, teve-se a conclusão de que todos os traços obtiveram valores médios superiores aos traços de referência, com exceção do traço de 20% de pó de vidro em substituição à areia. O melhor desempenho foi os das

misturas com 5% de substituição, que alcançaram resistência 40% maior que as misturas do traço de referência. Da mesma forma, os autores também concluíram que o ganho de resistência pode estar associado ao preenchimento de vazios das misturas pelo vidro moído.

Fávero (2009) realizou uma pesquisa com substituição total de areia (agregado miúdo) por pó de vidro com módulo de finura igual a 3. Os ensaios de resistência à compressão com a substituição total apontaram um ganho de 10% em relação aos ensaios de resistência com as misturas do traço de referência. Já quando substituído o cimento em 10% de vidro moído, os ensaios de resistência à compressão resultaram em um ganho de 20% de resistência comparada ao traço padrão.

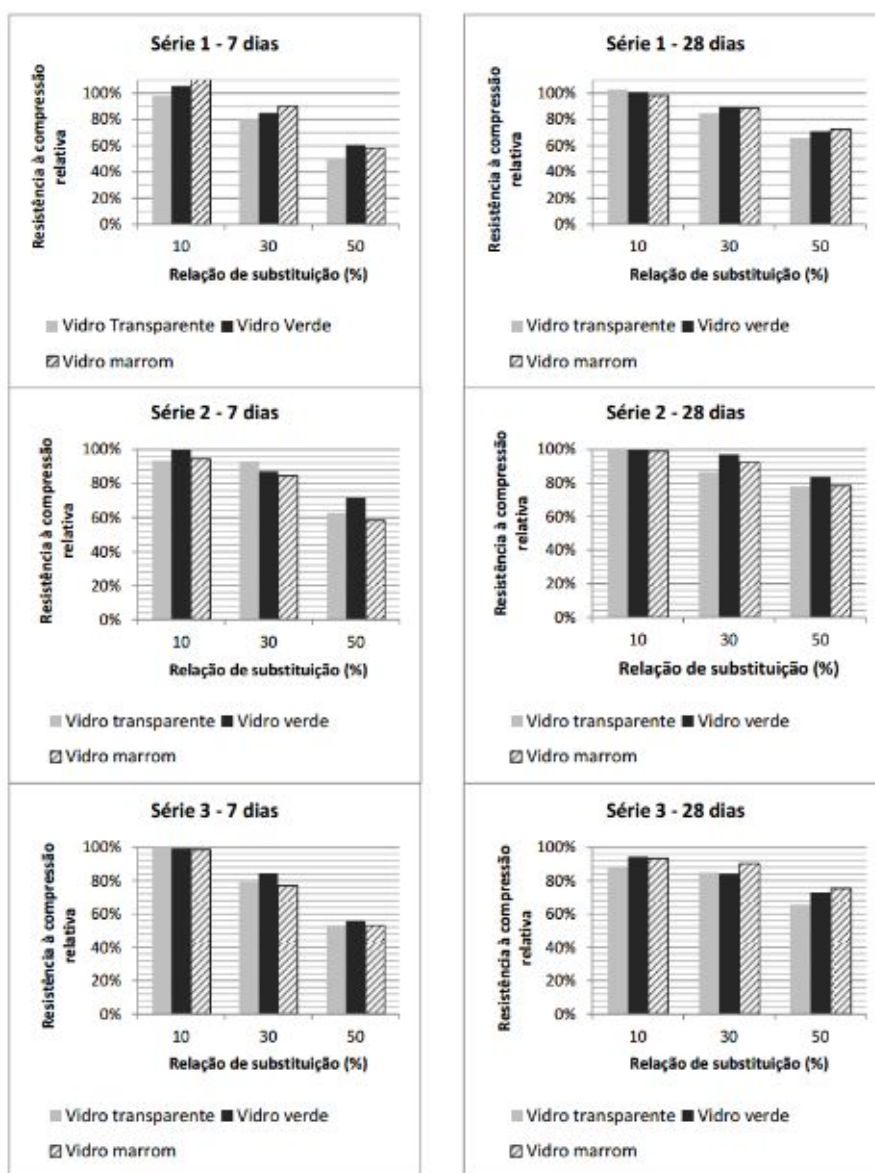
Matos e Coutinho (2012) pesquisaram sobre a durabilidade e propriedades mecânicas das argamassas com adição de vidro moído em substituição parcial do cimento. Em misturas de argamassas com substituição de 10% e 20% de cimento por vidro, houve uma significativa melhora em suas trabalhabilidades, fornecendo resultados favoráveis neste aspecto. Ainda, os autores afirmam que, se for desconsiderado o conteúdo alcalino, as características químicas do vidro o torna um bom material.

Kou e Poon (2009) seguiram a mesma linha de raciocínio de Bardini e Marchioro (2007), na qual a pesquisa baseou-se na substituição parcial de agregado miúdo por pó de vidro. As porcentagens de substituição são respectivamente: 15%, 30% e 45% de areia por vidro moído com partículas entre 5mm - 10mm, separadas em dois grupos distintos, sendo o diferencial a adição ou não de cinza volante, com o objetivo de avaliar se expansões que podem surgir por conta da reação álcali-silica. Os ensaios de resistência à compressão apontaram resultados desfavoráveis, sendo que as misturas de argamassas com substituição de agregado miúdo por vidro moído apresentaram valores inferiores às misturas de argamassas

com o traço de referência. Assim, com o aumento do teor das substituições, houve um decréscimo nas resistências à compressão.

Estudos para verificar as propriedades de argamassas compostas com adição de resíduo de vidro, cinza volante e escória de alto forno pela substituição parcial de cimento foram conduzidos por Ozkan e Yuksel (2008). Foram realizados ensaios de resistência à compressão das misturas em diferentes idades e em diferentes porcentagens de substituição, que podem ser identificados na Figura 3.

Figura 3 - Resistência à compressão aos sete e vinte e oito dias



Fonte: Ozkan e Yuksel (2008).

A análise dos gráficos da Figura 3 indica que, conforme as relações de substituição aumentam, os valores de resistência à compressão diminuem. Para a idade de 7 dias, o autor constatou que a resistência à compressão máxima resultou em 36,8 MPa, sendo este 10,7 % maior que o valor de resistência à compressão com as misturas do traço de referência. Já na idade de 28 dias, o valor da compressão máxima ficou em 47,8 MPa, este sendo 3,8% maior que o valor das misturas do traço padrão. Desta forma, foi constatado que o vidro possui influência na expansão RAS (reação álcali-silica).

Estudos realizados por Righi et. al (2012) contempla a da utilização de garrafas do tipo *long neck* como substituto parcial e total do agregado miúdo (areia) em mistura de concreto, devido ao excesso de garrafas que são destinados à lixões e aterros sanitários e a escassez de recursos naturais para a construção civil. Desta forma, foram substituídas as seguintes porcentagens de areia por vidro moído de garrafas de *long neck*: 5%, 10%, 15%, 20% e 100%. Para a obtenção dos corpos-de-prova, foram utilizados pelos responsáveis os traços descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Traços de substituição do agregado miúdo por vidro moído de garrafas do tipo *long neck*.

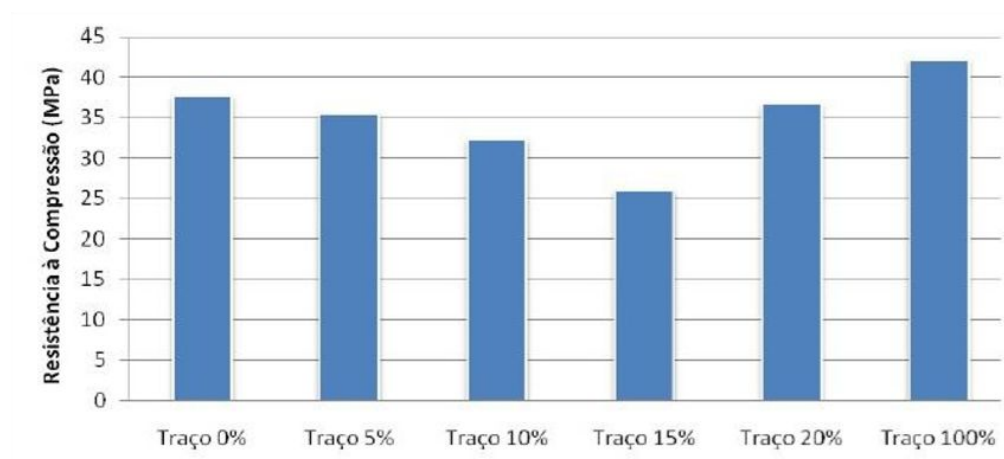
TRAÇO	VIDRO (%)	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	VIDRO (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (L)
0% Vidro	0	10,52	20,40	0,00	32,18	4,73
5% Vidro	5	10,52	19,38	1,02	32,18	4,73
10% Vidro	10	10,52	18,36	2,04	32,18	4,73
15% Vidro	15	10,52	17,34	3,06	32,18	4,73
20% Vidro	20	10,52	16,32	4,08	32,18	4,73
100% Vidro	100	10,52	0,00	20,70	32,18	4,73

Fonte: Righi et. al (2012 p. 6).

Após a cura dos corpos-de-prova de diferentes traços, os responsáveis pela pesquisa realizaram os ensaios de resistência mecânica à compressão, os quais apontaram valores de resistências inferiores até 15% de substituição de agregado

miúdo por vidro moído quando comparadas aos valores de resistências do traço padrão de referência. Todavia, os ensaios com os corpos-de-prova com 100% de substituição de agregado miúdo por vidro moído apontaram valores de resistência mecânica superiores aos valores do traço padrão de referência, conforme demonstrado graficamente pelos autores no Gráfico 1.

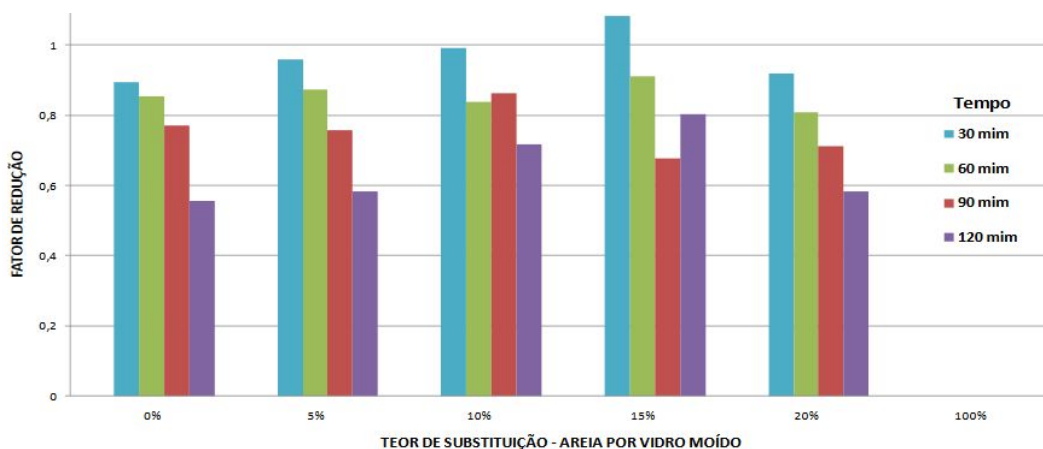
Gráfico 1 - Valores obtidos com o ensaio de resistência mecânica à compressão



Fonte: Righi et. al. (2012, p. 8).

A conclusão dos autores, por sua vez, se deu através do gráfico apresentado na Figura 2, o qual demonstra os fatores de redução da resistência mecânica à compressão do concreto.

Figura 2 - Fator de redução da resistência à compressão



Fonte: Righi et. al. (2012).

Os autores constataram que, para uma melhor interpretação dos resultados, a análise deve ser dividida em duas etapas, sendo elas: efeito do teor de vidro moído nos compósitos e efeito do tempo de exposição das misturas a elevadas temperaturas (600°C). Os autores apontam que em quaisquer dos tempos de exposição à elevadas temperaturas os corpos-de-prova de diferentes traços apresentaram um comportamento similar, manifestando um incremento de resistência até 15% de substituição e decaindo após este. Quanto ao efeito do tempo de exposição à 600°C, houve uma redução na resistência mecânica à compressão dos corpos de prova quando submetidos a elevadas temperaturas, sendo proporcional ao aumento do tempo de exposição (RIGHI *et. al.*, 2012).

Os autores apontam como justificativa para o ganho de resistência mecânica com a total substituição de agregado miúdo por vidro moído, o aumento do teor de finos na mistura. A investigação desta, foi feita através da curva granulométrica do agregado miúdo e do vidro moído de garrafas de *long neck*.

Por fim, segundo Righi *et al.* (2012), adições de vidro moído com granulometria maior do que 300 µm não são favoráveis para serem utilizados como substitutos do agregado miúdo de misturas de concreto. A afirmação se deve por conta da reação entre sílica do vidro com a reação álcalis do cimento, ocasionando expansão do material e perda de resistência mecânica.

### **2.2.3 Propriedades que limitam o uso a utilização do vidro moído em concretos/argamassas**

A utilização do vidro em misturas cimentícias possibilita, além de uma destinação final mais sustentável, a utilização em menor escala de recursos naturais. Todavia, Neville (1997) aponta que é possível que ocorra uma reação entre a sílica presente no vidro e os álcalis do cimento, mais conhecida como reação álcali-sílica (RAS). Ainda, estudos realizados por Johnson (1974) apud Shao *et al.* (2000) descrevem que a utilização de vidro como substituto parcial ao agregado

grau de misturas cimentícias não é adequado, devido a ocorrência da reação álcali-sílica ocasionando queda da resistência mecânica e expansão do elemento cimentício.

De acordo com Vian (2018), é necessária atenção quando utilizada a substituição de agregados por vidro moído, por conta da reação álcali-sílica, conhecida também por reação álcali-agregado. Conforme Neville e Brooks (2013), a denominação álcali-agregado se remete à propriedade que conjunto do agregado tem em reagir com a mistura cimentícia.

Ainda, deve-se salientar que o tamanho das partículas utilizadas na substituição dos agregados também são influentes nas misturas. Pesquisas recentes indicam que quando utilizado o tamanho de partículas de até 300µm, pode ocorrer a redução da expansão no material provocada pela RAS (SHAO *et al.*, 2000).

Estudos realizados por Shao *et al.* (2000), os quais estudaram a incorporação de vidro finamente moído no concreto em substituição parcial do cimento, analisaram a atividade pozzolânica do vidro inserido nas misturas de concreto em 30% de substituição de cimento pelo mesmo e seus respectivos ganhos ou perdas de resistência à compressão. Ainda, os autores realizaram ensaios com misturas de argamassa com a finalidade de analisar a capacidade de expansão provocada pela RAS. Como esperado pelos autores, por conta de seus conhecimentos referenciais, a influência do tamanho das partículas de vidro no desempenho das misturas cimentícias é muito grande. Como resultado, quando comparadas às resistências do traço padrão às resistências das misturas de concreto com a adição de partículas de vidro menores que 75µm, os concretos com adição de vidro superaram os valores de resistência mecânica à compressão. Ainda, notou-se também uma menor expansão do material.

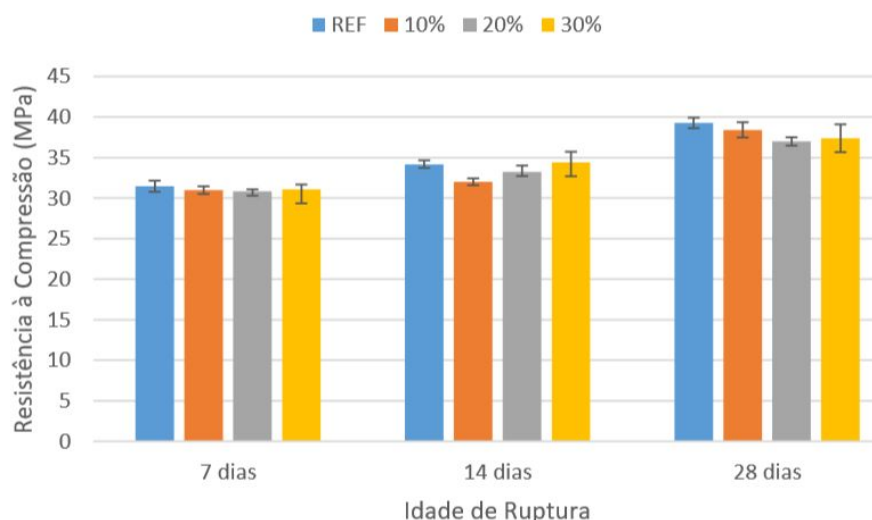
### 2.2.3.1 Índice de desempenho aos 28 dias

Para realizar a verificação do índice de atividade pozolânica do material aos 28 dias deve-se seguir a norma brasileira vigente, sendo ela a NBR 5752: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento *Portland* aos 28 dias (ABNT, 2014). Para o ensaio, a norma indica que devem ser produzidas duas argamassas de misturas diferentes, uma sendo denominada como “argamassa A” com a indicação do traço de referência, sem a adição do resíduo e a outra sendo denominada como “argamassa B” estando presente nesta, a adição do resíduo na mistura. Após, aos 28 dias de cura deve-se ensaiar os corpos de prova à compressão para então, realizar o cálculo da relação entre as resistências médias dos corpos-de-prova produzidos com a “argamassa A” e os corpos de prova produzidos com a “argamassa B” (ABNT NBR 5752, 2014).

Estudos realizados por Vian (2018) indicam uma possível atividade pozolânica do material analisado, pelo fato de que todos os traços de concretos utilizados envolvendo a substituição parcial de agregado miúdo por vidro moído apresentaram ganho de resistência com o aumento das idades, entre 7 e 28 dias, de acordo com o gráfico da Figura 4. Os corpos-de-prova com substituição de 10% tiveram sua resistência média aos 28 dias de 38,5MPa e os com substituição de 20 e 30% tiveram sua resistência média aos 28 dias de aproximadamente 37MPa. Simões (2013) aponta que a evolução e ganho de resistências tardias pode ser explicado com o possível comportamento pozolânico que o vidro exerce no composto.



Figura 4 - Resistência mecânica à compressão simples



Fonte: Vian (2018).

Ainda, estudos realizados por Santos (2016), o qual analisou a substituição de 0, 10, 15 e 20% de cimento e agregado miúdo por vidro moído em argamassas colantes, chegou-se à conclusão de que o resíduo de vidro apresentou atividade pozolânica considerável, sendo que o índice de atividade pozolânica manifestou-se em um percentual de 79,7%, considerando que o mínimo exigido pela norma em 2010 era de 75%. Após a atualização da norma, o mínimo exigido é de 90% de índice de desempenho aos 28 dias. O resíduo de vidro, quando utilizado na faixa granulométrica de 75µm, se apresenta como um inibidor da reação álcali-sílica, pois quando dividido em partículas pequenas passa a apresentar alta atividade pozolânica. Este fato é confirmado por diversos autores, entre eles Shi *et. al.* (2005) e Paiva *et. al.* (2010).

De acordo com Paiva (2010), o resíduo de vidro se apresenta como um material pozolânico pertencente à classe N. A classificação se dá através das exigências e critérios da NBR 12653/1992. O critério da norma é: somatório dos óxidos de SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, devendo ser igual ou maior que 70%. O estudo do autor apresentou o resíduo com 80,68%. Após a classificação da NBR 12653/1992, o valor do índice de atividade pozolânica através da NBR 5752/2014, aos 28 dias foi de 104%, superando o mínimo de 75% exigido em norma. Ainda, os valores de

resistência à compressão dos traços com substituição de 10,15 e 20% aos 28 dias tiveram um decréscimo em comparação ao traço de referência, conforme tabela demonstrada na Figura 5. Porém, com o passar das idades, percebe-se ganhos de resistências principalmente nas misturas com substituição de resíduo de vidro, mostrando que há atividade pozolânica no material, conforme tabela da Figura 6.

Figura 5 - Valores de resistência mecânica à compressão e trabalhabilidade de argamassas de cimento Portland e resíduo de vidro

Mistura	Resistências à compressão (MPa) – Desvio padrão (MPa)				Trabalhabilidade / espalhamento
	3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	
Referência	48,85 ± 0,48	53,14 ± 1,53	65,55 ± 2,82	68,51 ± 2,87	276 ± 20 mm
10%	39,90 ± 1,38	48,61 ± 1,28	59,37 ± 3,98	63,79 ± 3,54	288 mm
15%	37,65 ± 0,90	44,84 ± 1,86	61,81 ± 3,69	68,99 ± 1,24	273 mm
20%	35,6 ± 1,19	44,50 ± 0,65	58,37 ± 2,56	65,26 ± 4,92	266 mm

Fonte: Paiva (2010).

Figura 6 - Ganhos de resistência entre idades inicial (3 dias) e final (28 e 56 dias)

Mistura	Resistência a compressão (MPa)	
	$\Delta_{3-28 \text{ dias}}$	$\Delta_{3-56 \text{ dias}}$
Referência	16,87	19,66
10%	19,47	23,89
15%	24,16	31,34
20%	22,77	29,66

Fonte: Paiva (2010).

### 2.2.3.2 Reação álcali agregado

De acordo com Ribeiro (2015), a reação álcali-agregado é passível de ocorrer por conta da presença dos álcalis do cimento quando combinado com agregados que podem ser reagentes ou, potencialmente reagentes na presença de umidade. Tiecher (2006) aponta que a nomenclatura “reação álcali-agregado” se diz respeito a uma reação química que ocorre no toque dos hidróxidos alcalinos, encontrados na

água de amassamento, cimento, pozolanas e etc. com minerais presentes nos agregados usualmente utilizados em misturas cimentícias.

Righi *et. al.* (2012) apontam que a sílica presente no vidro pode reagir com os álcalis do cimento na presença de umidade. A reação ocasiona a formação de um gel expansivo, sendo este prejudicial à mistura cimentícia.

Para que ocorra a reação entre a pasta de cimento e o vidro, sendo que a sílica presente em sua composição química é em estado amorfo, depende de fatores como a temperatura, granulometria das partículas e do tempo, sendo esta denominada reação álcali-agregado. De acordo com os autores, a reação álcali-agregado pode ser nocivo ao concreto por conta da formação de um gel denominado sílico-alcálico, que absorve água por osmose, gerando uma expansão no material (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Ribeiro (2015) aponta que para que haja um maior controle da reação álcali-agregado, deve-se optar por cimentos com teores reduzidos de álcalis e a utilização de agregados sem potenciais reativos. Porém, fatores externos como a temperatura e a umidade também são determinantes para a ocorrência da reação. Segundo Fávaro (2009), quando utiliza-se o vidro moído como material substituto do agregado na mistura cimentícia, a adição de pozolanas tem potencial de reduzir a reação álcali-agregado, ou seja, a utilização do pó de vidro moído garante propriedades pozolânicas, dependendo da porcentagem que for adicionada.

### **2.2.3.3 Granulometria do resíduo de vidro**

O tamanho das partículas utilizadas em pastas de cimento deve ser observado, pois tem o poder de influenciar nas propriedades básicas da matriz cimentícia, já que a mistura pode sofrer com a reação álcali-sílica. A RAS provoca fissuras na matriz cimentícias, ocasionando mau desempenho mecânico e baixa durabilidade (IDIR *et. al.*, 2012).

Segundo os autores Idir *et. al.* (2012) e Araújo *et. al.* (2011), estudos com a incorporação de vidro moído com granulometria igual ou inferior a 100µm em misturas cimentícias tiveram as expansões pela reação álcali-sílica controladas. Em contrapartida, segundo os autores Matos e Souza-Coutinho (2012) e Salomão *et. al.* (2010) afirmam que as expansões só podem ser controladas quando utilizados vidro moído com granulometria igual ou inferior a 75µm.

De acordo com Shi *et. al* (2005), o vidro moído quando apresenta granulometria igual ou inferior a 75µm torna-se um inibidor da reação álcali-sílica. O fato se explica devido a presença de uma imensa quantidade de sílica amorfa, passando a exibir alta atividade pozolânica.

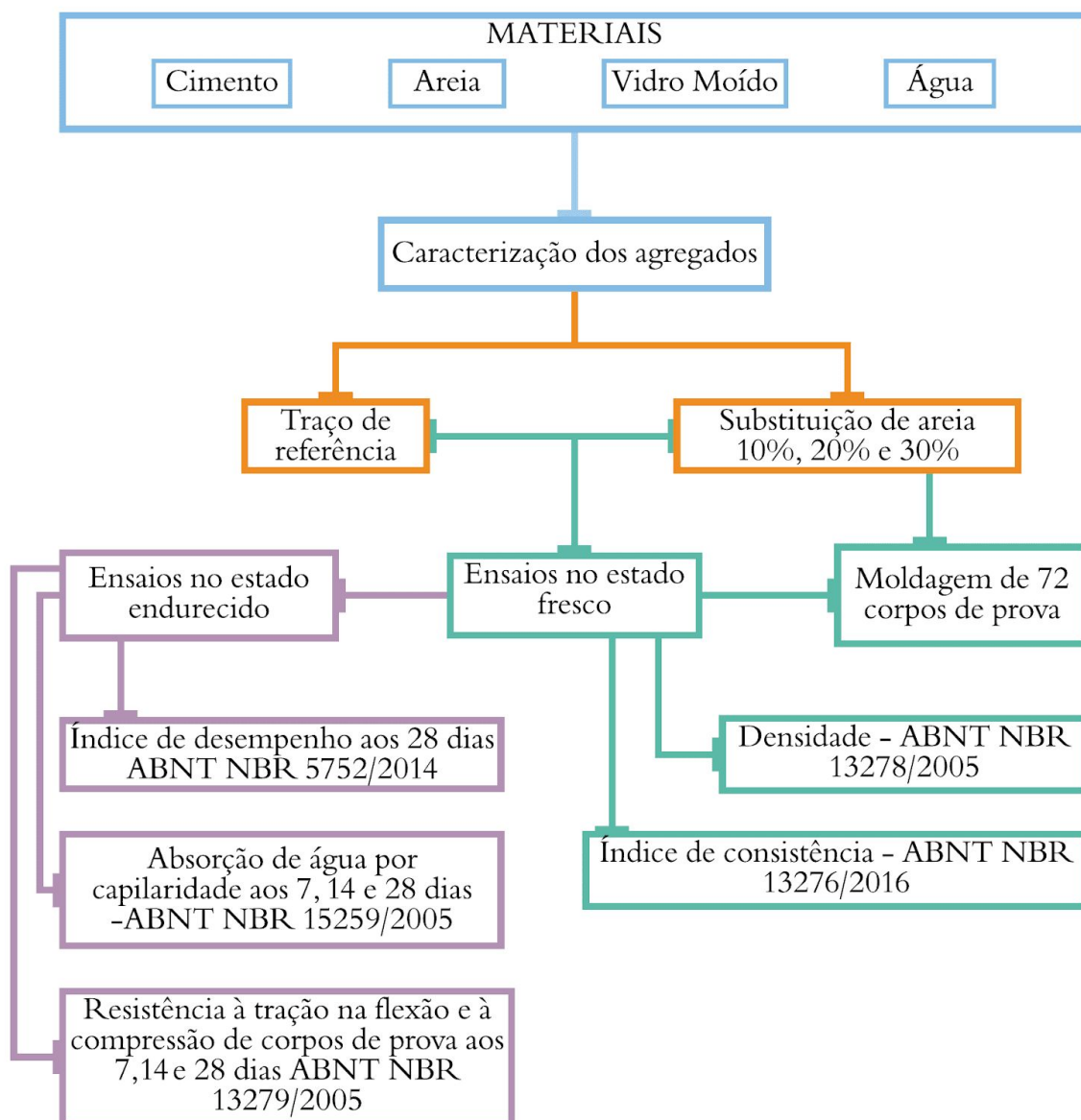
### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, bem como os ensaios realizados para determinar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas, sendo as análises divididas em duas etapas: estado fresco e estado endurecido.

#### **3.1 Estratégia de Pesquisa**

Com o propósito de efetivar todos os objetivos propostos, foi realizado o planejamento de uma estratégia de pesquisa, o qual está ilustrada no fluxograma na Figura 7. Constan no fluxograma informações de materiais e equipamentos que foram utilizados, bem como dosagens e ensaios.

Figura 7 - Programa Experimental



Fonte: Da autora (2020).

Os procedimentos de ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Construção da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES (LATEC), localizado na cidade de Lajeado/RS, de acordo com as premissas das normativas brasileiras vigentes. Além disso, os materiais e maquinários utilizados também seguiram as normas da ABNT.

As garrafas de *long neck* foram fornecidas por uma empresa que possui lojas de conveniência e casas de festas na cidade de Lajeado/RS, as quais foram todas de uma mesma marca, garantindo as mesmas propriedades vítreas.

Na primeira etapa deste trabalho realizou-se a caracterização dos materiais utilizados nas produções destas argamassas, conforme as normas da ABNT. Em seguida, partiu-se para a segunda etapa da pesquisa, a qual foi destinada às produções das argamassas e moldagens dos corpos-de-prova. Já na terceira etapa, efetuaram-se os ensaios no estado fresco, sendo eles, ensaio de densidade e índice de consistência. Por fim, a quarta etapa da pesquisa foi destinada aos ensaios no estado endurecido, que correspondem às análises de índice de desempenho aos 28 dias, absorção de água por capilaridade aos 7, 14 e 28 dias e resistência à tração na flexão e compressão aos 7, 14 e 28 dias. Após todas as etapas, ocorreu a análise e comparação dos resultados das diferentes dosagens de argamassas.

### **3.2 Materiais**

As argamassas foram produzidas através da mistura entre aglomerante cimento Portland (CPV - ARI), agregado miúdo (areia), água e vidro moído. Os materiais utilizados nesta pesquisa foram provindos do comércio local da cidade de Lajeado/RS.

#### **3.2.1 Cimento**

O cimento utilizado na execução dos corpos de prova foi o Cimento *Portland* de alta resistência inicial (CP V - ARI RS), da marca Cauê. De acordo com o fabricante, o material apresenta elevada resistência inicial e rápida secagem, proporcionando rapidez e eficiência à obra. Ainda, o mesmo garante que as resistências alcançadas são superiores às exigidas pela NBR 5733 (ABNT, 1991) e

NBR 5737 (ABNT, 1992), responsáveis por legislar as condições mínimas referente a este cimento.

A presença de uma maior quantidade de C3S (silicato tricálcico) aliada à elevada finura deste material são responsáveis pela alta resistência inicial do mesmo, sendo utilizado tanto em grandes quanto em pequenas obras, podendo atingir resistência de 21 MPa em 24 horas. Apresentando massa específica de 3,15 g/cm<sup>3</sup> aproximadamente, de acordo com a ABNT NBR 16605 (2017).

### **3.2.2 Agregado Miúdo**

A areia utilizada foi provinda de empresas do Vale do Taquari, de origem natural quartzosa. Para o conhecimento das características físicas do material, realizaram-se ensaios de determinação granulométrica segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa unitária segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e massa específica segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009).

#### **3.2.2.1 Determinação granulométrica**

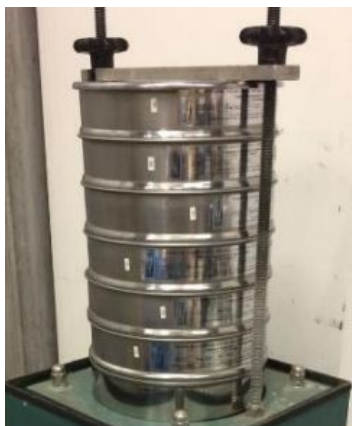
A faixa granulométrica da areia foi determinada através de ensaios normatizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) a qual exige que sejam separadas duas amostras de agregado utilizado e que estas sejam primeiramente secas em estufa entre 105 +/- 5 °C. Após a secagem em estufa, as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente e em seguida, foram determinadas as suas massas (m1 e m2).

As peneiras que foram utilizadas na determinação granulométrica atendem às premissas das normas NBR NM ISO 3310-1 ou 2 (ABNT, 2010), de malhas 4,75, 2,36, 1,18, 0,6, 0,3 e 0,15 milímetros. De antemão, as peneiras e fundo foram limpas e encaixadas em ordem crescente de abertura de malhas, para que após, fosse possível despejar o material.



Ambas as amostras foram inseridas no topo das peneiras e após foram submetidas ao agitador mecânico por cinco minutos para que as frações de areia ficassem bem separadas. O agitador mecânico está disponível para utilização no LATEC (Figura 8).

Figura 8 - Agitador mecânico de peneiras



Fonte: da autora (2020).

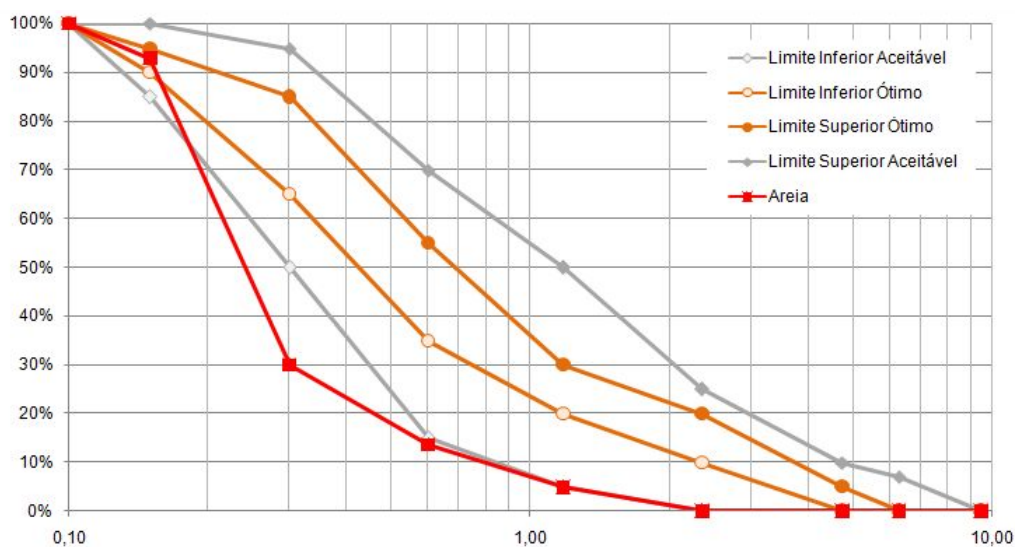
Após a etapa anterior, foi possível determinar as porcentagens de materiais passantes em cada peneira através das massas dos materiais retirados, com a utilização de uma balança de precisão, indicada na Tabela 2. Após este procedimento, foi possível traçar a curva granulométrica da areia (Gráfico 2).

Tabela 2 - Distribuições granulométricas do agregado miúdo

AGREGADO MIÚDO			
(mm)	(%)		
Malha	Retido	Retido Acumulado	Passante Acumulado
9,5	0	0	100
6,3	0	0	100
4,75	0	0	100
2,36	0,02	0,02	99,98
1,18	4,88	4,9	95,1
0,6	8,7	13,6	86,4
0,3	16,45	30,05	69,95
0,15	63,54	93,59	6,41
Fundo	6,41	100	0

Fonte: LATEC (2020).

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: LATEC (2020).

Conforme demonstrado no Gráfico 2, a curva granulométrica da areia utilizada está abaixo do limite inferior aceitável por norma. Porém, entre as areias disponíveis para utilização no laboratório (LATEC), esta foi a que mais se aproximou do ideal.

### 3.2.2.2 Determinação da massa específica e massa unitária

Para a determinação da massa específica seguiu-se as premissas da NBR NM 52 (ABNT, 2009), a qual redige o conceito de massa específica como sendo a relação entre a massa do agregado seco em estufa a  $5 \pm 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e o seu volume, excluindo-se os poros permeáveis. A norma exige que seja separado em um recipiente a quantia de um quilograma de agregado miúdo e que o mesmo fique imerso em água durante 24 horas. Após o tempo indicado, a areia foi disposta em um local plano para secar naturalmente através da evaporação da água até atingir a condição de saturada com a superfície seca.

Após o processo dito acima, foi necessário colocar uma quantidade de 500 gramas do mesmo material em um frasco e registrar o peso do conjunto ( $m_1$ ). Em seguida, foi despejado sobre o material cerca de 500 mililitros água, sendo o conjunto movimentado a fim de eliminar quaisquer bolhas de ar e após, obteve-se o peso do conjunto ( $m_2$ ). Seguidamente, o agregado miúdo foi retirado do frasco para que fosse seco em estufa a  $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  até a massa atingir valor constante para então, esfriar em temperatura ambiente e por fim, realizar a pesagem. Para a determinação da massa específica, foi utilizada a Equação 1.

Equação 1 - Massa Específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (Eq.1)

$$\gamma = \frac{m}{\left( V - \left( \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \right) - \left( \frac{m_s - m}{\rho_a} \right) \right)}$$

Onde:

$\gamma$  : massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_1$ : agregado miúdo + massa do frasco (g);

$m_2$ : agregado miúdo + massa do frasco + 500  $\text{cm}^3$  de água (g);

$m_s$ : massa do agregado saturado com a superfície seca (g);

$m$ : massa do agregado seco em estufa com  $(105 \pm 5) \text{ }^{\circ}\text{C}$  (g);

V: Volume do frasco (500 cm<sup>3</sup>);

$\rho_a$ : massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>).

Após, foi determinada a massa unitária do material através das premissas da NBR NM 45 (ABNT, 2006) por meio do método C. Primeiramente, deve ser determinada a capacidade de volume do recipiente que será utilizado no ensaio para após despejar o agregado miúdo no mesmo a uma altura de cinco centímetros nivelada com uma régua metálica. Este procedimento tem a finalidade de evitar a segregação do mesmo. Ao final, a massa unitária foi determinada através da Equação 2.

Equação 2 - Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)

(Eq.2)

$$\delta = \frac{m1 - m2}{V}$$

Onde:

$\delta$ : massa unitária (g/cm<sup>3</sup>);

m1: massa do recipiente + agregado miúdo (g);

m2: massa do recipiente (g);

V: volume do recipiente (cm<sup>3</sup>).

Os valores obtidos de massa específica e massa unitária da areia foram de 2,60 g/cm<sup>3</sup> e 1,492 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

### 3.2.3 Água de amassamento

A água utilizada na produção das argamassas é potável, provinda da rede de abastecimento público da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), disponibilizada pelo LATEC. A mesma atende às exigências mínimas de qualidade

apresentadas pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009), através da verificação à olho nú no momento da realização prática da pesquisa.

### 3.2.4 Vidro moído

O vidro utilizado nesta pesquisa derivou-se de garrafas de *long neck*, sendo todas elas de mesma marca e cor. A coleta das mesmas aconteceu em lojas de conveniência e casas de festas da cidade de Lajeado/RS.

A causa pela qual optou-se por utilizar garrafas do tipo *long neck* (Figura 9) foi de que as mesmas não são recicladas, ou seja, suas embalagens não são retornáveis. Com isso, estas acabam sendo destinadas a aterros sanitários e lixões, o que agride constantemente o meio ambiente.

Desta forma, em primeiro momento o vidro passou por processos de limpeza com água e detergente neutro, garantindo-se assim que não houvesse nenhuma substância e/ou resíduos que pudessem interferir na qualidade da argamassa (Figura 10). Após esta etapa, o vidro foi previamente quebrado de forma manual (Figura 11) para então ser moído (Figura 12). Os procedimentos de moagem deste material foram realizados com o auxílio do moinho mecânico de bolas disponível no LATEC.

Figura 9 - Garrafas do tipo *long neck*



Fonte: da autora (2020).

Figura 10 - Garrafa do tipo *long neck* higienizada



Fonte: da autora (2020).

Figura 11 - Vidro previamente quebrado



Fonte: da autora (2020).

Figura 12 - Vidro moído com o auxílio do moinho mecânico de bolas



Fonte: da autora (2020).

#### 3.2.4.1 Processo de moagem do vidro

Com o objetivo de se obter a granulometria do vidro semelhante à da areia, foi separada para utilização uma quantia de um quilograma de material previamente quebrado e submetido ao moinho mecânico de bolas. a moagem ocorreu em intervalos de tempo variados até que a curva granulométrica do vidro ficasse semelhante a da areia. O aparelho utilizado para o processo está ilustrado na Figura 13 e conta com 66 esferas de aço com massa de 112 gramas cada uma.

Figura 13 - Moinho mecânico de bolas



Fonte: Vian (2018).

#### 3.2.4.2 Determinação da granulometria do vidro moído

Através da NBR NM 248 (ABNT, 2003) determinou-se a granulometria do vidro, de acordo com o ensaio de peneiras da série normal. Foram secas em estufas sob temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$  duas amostras de material moído para a realização do ensaio. Os seguintes equipamentos foram utilizados: peneiras com abertura de 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , fundo avulso de peneiras, bandejas, agitador mecânico, balança e escova.



Após a secagem em estufa das duas amostras, as mesmas resfriaram em a temperatura ambiente para que fosse possível realizar a medição de ambas as massas ( $m_1$  e  $m_2$ ). Em seguida, realizou-se a limpeza de todas as peneiras para encaixá-las em ordem crescente de abertura das malhas da base ao topo. Após, despejou-se as amostras que seguidamente foram levadas ao agitador mecânico por cinco minutos. Logo após o processo dito anteriormente, foram pesadas em balança as massas de material que ficaram retidas em cada peneira.

As quantidades em porcentagem de material retidos foram separadas de acordo com as peneiras utilizadas para a obtenção da curva granulométrica (Figura 14). Tal ação foi necessária para que a homogeneidade do vidro moído fosse garantida.

Figura 14 - Vidro moído separado em diferentes granulometrias



Fonte: da autora (2020).

A moagem de aproximadamente 1000g de vidro previamente quebrado pelo tempo de 40 minutos no moinho mecânico de bolas foi a que mais se assemelhou aos valores de resultados obtidos da areia.

Visando a substituição de agregado miúdo por vidro moído nas argamassas, a primeira análise foi a determinação da curva granulométrica do vidro. Desta forma, através do peneiramento obteve-se os valores da Tabela 3, expressos também no Gráfico 3.

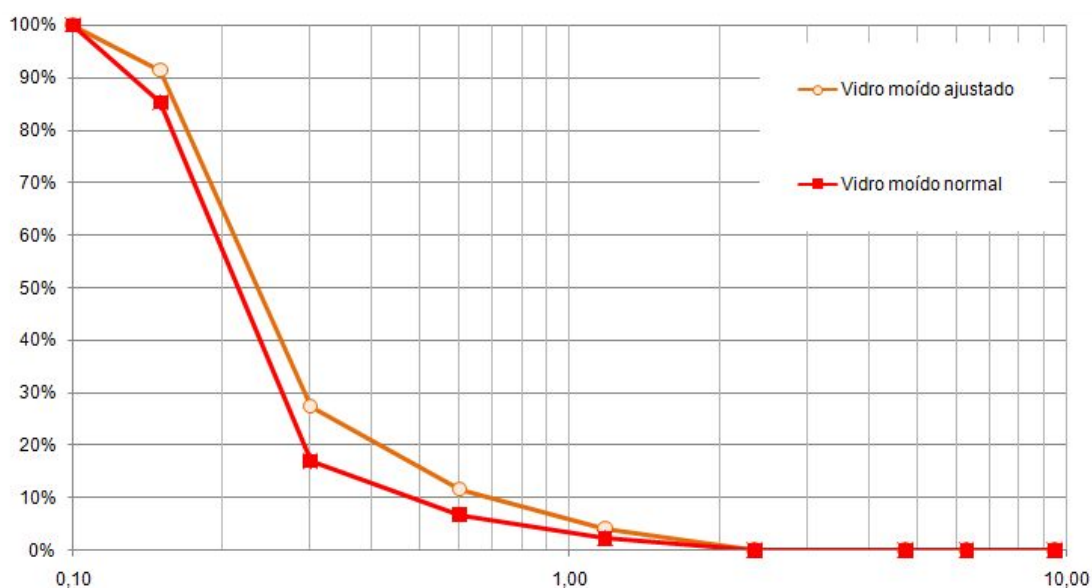


Tabela 3 - Distribuições granulométricas do vidro moído de formas normal e ajustada

VIDRO MOÍDO						
(mm)	(%)					
Malha	Retido Vidro Moído Ajustado	Retido Acumulado	Passante Acumulado	Retido Vidro Moído Normal	Retido Acumulado	Passante Acumulado
9,5	0	0	100	0	0	100
6,3	0	0	100	0	0	100
4,75	0	0	100	0	0	100
2,36	0	0	100	0	0	100
1,18	4,1	4,1	95,9	2,3	2,3	97,7
0,6	7,5	11,6	88,4	4,56	6,86	93,14
0,3	15,9	27,5	72,5	10,15	17,01	82,99
0,15	63,55	91,05	8,95	68,3	85,31	14,69
Fundo	8,95	100	0	14,69	100	0

Fonte: da autora (2020).

Gráfico 3 - Granulometria do vidro moído normal e ajustado



Fonte: da autora (2020).

Através do Gráfico 3, é possível analisar o vidro moído ajustado conforme a granulometria desejada para diferentes aberturas de malhas.

### 3.2.4.3 Determinação da massa específica e da massa unitária do vidro moído

Para determinar a massa específica do vidro, foi utilizada a NBR 16605 (ABNT, 2017), onde a relação entre a massa de vidro moído que é utilizada no

ensaio e o volume de líquido deslocado na parte interna do frasco de *Le Chatelier* (Figura 15) proporcionam o resultado do mesmo.

Figura 15 - Frasco de *Le Chatelier*



Fonte: da autora (2020).

Em primeiro momento, o frasco de *Le Chatelier* com volume conhecido de 250 cm<sup>3</sup>, foi completado com querosene (líquido não reagente com o material) entre as marcas 0 e 1 cm<sup>3</sup> para descansar por um período de trinta minutos. O intuito era de que o líquido e o ambiente entrassem em equilíbrio térmico.

Após este processo, foram adicionadas ao frasco de *Le Chatelier* pequenas porções da amostra de vidro moído, conforme ilustrado na Figura 16, até que o líquido alcançasse as marcas de 18 cm<sup>3</sup> a 24 cm<sup>3</sup>. Em seguida, foi registrado a massa total (V) da amostra. Para a determinação da massa específica do material, utilizou-se a Equação 3.

Equação 3 - massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

(Eq. 3)

$$\gamma = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

Onde:

$\gamma$  : massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

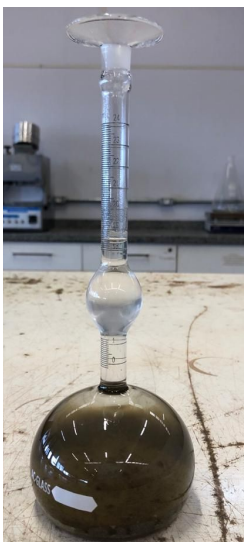
m: massa do vidro moído utilizado para o ensaio (g);

V1: somatório das massas do conjunto líquido + frasco *Le Chatelier* ( $\text{cm}^3$ );

V2: somatório das massas do conjunto líquido + frasco *Le Chatelier* + amostra ( $\text{cm}^3$ ).

Para determinar a massa unitária do vidro consideraram-se as premissas da NBR NM 45 (ABNT, 2006), através do método C. Para a realização do ensaio foram necessárias: uma amostra de vidro moído, balança analítica com precisão de duas casas decimais, uma haste de adensamento e recipiente cilíndrico (Figura 17).

Figura 16 - Frasco de *Le Chatelier* com a introdução de pequenas porções da amostra de vidro moído



Fonte: da autora (2020).

Figura 17 - Materiais necessários para o ensaio



Fonte: da autora (2020).

Para iniciar o ensaio, secou-se em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a amostra de material até o alcance da massa constante. Após, determinou-se a massa do recipiente cilíndrico limpo e vazio para então, despejar o material seco a uma altura de no máximo cinquenta milímetros da borda do recipiente, para que fosse possível determinar a massa do conjunto (vidro moído + recipiente cilíndrico). O valor da massa unitária foi obtido utilizando-se a Equação 4.

Equação 4 - Massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

(Eq. 4)

$$\delta = \frac{m1 - m2}{V}$$

Onde:

$\delta$ : massa unitária ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m1$ : massa do recipiente + agregado (g);

$m2$ : massa do recipiente (g);

$V$ : volume do recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

Os valores de massa específica e massa unitária do vidro moído encontrados foram de 2,53 g/cm<sup>3</sup> e 1,23 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Ambas estão próximas às massas específica e unitária da areia, sendo que a massa específica do vidro moído apresentou uma variação de -2,69% em relação à da areia. Já a massa unitária do vidro moído obteve uma variação de -17,56% (Tabela 4).

Tabela 4 - Propriedades dos agregados

Propriedade dos agregados	Agregado miúdo	Vidro moído
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,6	2,53
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,49	1,23
DMC (mm)	1,18	1,18
Módulo de Finura (MF)	1,42	1,34

Fonte: da autora (2020).

Através da análise dos resultados da Tabela 4, foi possível constatar a similaridade entre os materiais utilizados na pesquisa, sendo possível prosseguir para as próximas etapas.

### 3.3 Programa experimental

Foram realizados ensaios em duas etapas distintas de tempo, sendo a etapa 1 com a argamassa em estado fresco e a etapa 2 com a argamassa em estado endurecido. O traço utilizado seguiu um padrão normativo de 1:3 (cimento:areia) com relação água cimento (a/c) de 0,7. Por fim, foram substituídas em volume as seguintes porcentagens de areia natural (agregado miúdo) por vidro moído: 0%, 10%, 20% e 30%.

#### 3.3.1 Ensaios no estado fresco da argamassa

No estado fresco da argamassa realizou-se ensaios de índice de consistência e densidade, seguindo as indicações das normas NBR 13276 (ABNT, 2016) e NBR

13278 (ABNT, 2005). Além dos dois ensaios, realizou-se a acomodação da massa fresca em moldes prismáticos de 4x4x16 centímetros e cilíndricos de 5x10 centímetros de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016).

### 3.3.1.1 Índice de consistência

Para o ensaio de determinação da consistência da argamassa, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016) foram necessários os seguintes equipamentos: molde tronco cônico, soquete metálico, mesa para índice de consistência, misturador mecânico, balança com resolução de 0,1 gramas e paquímetro para medições até trezentos metros, com resolução de no mínimo um metro.

A norma indica que a argamassa deve ser disposta em um molde de tronco cônico centralizado na mesa de consistência manual, sendo ela dividida em três camadas de alturas semelhantes, e para cada camada devem ser empregados quinze, dez e cinco golpes utilizando o soquete metálico. Ao finalizar a etapa anterior, com o auxílio de uma régua metálica, foram retirados os excessos de massa no topo do molde, fazendo-o com movimentos pequenos sobre toda sua superfície, certificando-se de que não houvesse nenhuma partícula no seu corpo externo (Figura 18).

Figura 18 - Mesa de queda



Fonte: da autora (2020).

Em seguida, ativou-se a manivela da mesa de consistência manual, fazendo-a com que descesse e subisse trinta vezes em trinta segundos de maneira uniforme. Após esta etapa, foram retiradas as medidas de três diâmetros da argamassa espalhada (Figura 19) com a ajuda do paquímetro e então, calculou-se a média, onde os valores foram arredondados para o número inteiro mais próximo.

Figura 19 - Argamassa espalhada



Fonte: da autora (2020).

### 3.3.1.2 Densidade

As densidades das argamassas foram determinadas baseando-se nas premissas e indicações da NBR 13278 (ABNT, 2005). Segundo a norma, são necessários os seguintes aparelhos para a realização do ensaio: balança com precisão mínima de 0,1 gramas, espátula, placa de vidro plano e recipiente com capacidade conhecida. Deste modo, para a execução do ensaio, foi disposto em um recipiente uma certa quantidade da mistura, colocando-a em três camadas semelhantes e para cada camada, aplicaram-se vinte golpes sobre o seu perímetro.

Ao final da colocação, realizou-se a limpeza do excesso de argamassa, certificando-se que não houvessem vazios entre a parede do recipiente e a mistura. Após, pesou-se o conjunto recipiente + argamassa e aplicou-se a Equação 5.

Equação 5 - Densidade da argamassa (Kg/m³)

(Eq. 5)

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} \times 1000$$

Onde:

d: densidade da argamassa (Kg/m³);

mc: massa do conjunto recipiente + argamassa (g);

mv: massa do recipiente (g);

vr: volume do recipiente (cm³).

### 3.3.1.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados dezoito corpos de prova (4x4x16cm) (FIGURA 20) para cada ensaio e para cada idade no estado endurecido da argamassa, totalizando setenta e dois corpos de prova e 10 corpos de prova cilíndricos (5x10cm) (FIGURA 21). Para a correta moldagem, seguiram-se as premissas da NBR 5738 (ABNT, 2016).

Em primeiro momento, os moldes foram higienizados e lubrificados com óleo mineral. Os moldes permaneceram em superfície livre de perturbações, a fim de não comprometer quaisquer alterações nas propriedades e formas da argamassa. Por fim, para o adensamento da massa, foram feitas duas camadas em cada molde do corpo de prova com doze golpes em cada camada com o amparo de haste metálica.



Figura 20 - Corpos de prova prismáticos



Fonte: da autora (2020).

Figura 21 - Corpos de prova cilíndricos



Fonte: da autora (2020).

### 3.3.2 Ensaios no estado endurecido da argamassa

No estado endurecido da argamassa realizou-se ensaio de índice de desempenho aos 28 dias, resistência tração na flexão e à compressão aos 7, 14 e 28 dias, e absorção de água por capilaridade aos 7, 14 e 28 dias, seguindo as indicações das normas NBR 5752 (ABNT, 2014), NBR 13279 (ABNT, 2005) e NBR 15259 (ABNT, 2005).

### 3.3.2.1 Índice de desempenho

Para a realização do ensaio de índice de desempenho aos 28 dias da argamassa com cimento Portland utilizou-se a NBR 5752 (ABNT, 2014). Assim, segundo as premissas da norma vigente, foram necessárias as seguintes aparelhagens: balança, moldes, misturados mecânico e mesa para índice de consistência, seguindo os parâmetros das suas próprias normas.

Segundo a norma, devem ser preparadas duas argamassas com diferentes dosagens, sendo a primeira delas com areia normal padronizada (FIGURA 22), água e cimento CP II-F-32 e a segunda com areia normal, água e 25% de material pozolânico em substituição ao cimento CP II-F-32, em porcentagem, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 22 - Areia padronizada pela ABNT NBR 7214.



Fonte: da autora (2020).

Figura 23 - Quantidade de material, em massa, para moldagem de 4 a 6 corpos de prova cilíndricos.

Material	Massa g	
	Argamassa A	Argamassa B <sup>a</sup>
Cimento CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico	—	156 ± 0,2
Areia normal <sup>b</sup>	1872,0	1872,0
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	—	<sup>c</sup>

<sup>a</sup> O material pozolânico e o cimento CP II-F-32 devem ser previamente misturados e homogeneizados em recipiente fechado, durante 2 min, aproximadamente.

<sup>b</sup> Quatro frações de (468,0 ± 0,3) g.

<sup>c</sup> Quantidade de aditivo superplastificante necessária para manter o índice de consistência normal da Argamassa B em ± 10 mm do obtido com a argamassa A, determinado conforme ABNT NBR 7215:1997, Anexo B. O aditivo deve ser adicionado na água de amassamento diretamente na cuba. O uso de aditivo é dispensável quando o índice de consistência da argamassa B for igual (± 10 mm) ou maior que o da argamassa A.

Fonte: ABNT NBR 5752 (2014).

Após a preparação das argamassas, ambas foram submetidas ao ensaio de índice de consistência (Figura 24), na qual a diferença entre o espalhamento entre elas não deve ser superior a +/- 10 milímetros.

Figura 24 - Ensaio de índice de consistência para a comparação do espalhamento de ambas as dosagens das argamassas.



Fonte: da autora (2020).

Para os processos necessários de mistura dos materiais, cura, moldagem dos corpos-de-prova e determinação da carga de ruptura à compressão seguiu-se as suas respectivas normas brasileiras. Assim, para a determinação do índice de desempenho aos 28 dias com cimento Portland utilizou-se a Equação 5.

Equação 5 - Índice de desempenho aos 28 dias com cimento Portland (Eq. 5)

$$I_{\text{cimento}} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100$$

Onde:

$I_{\text{cimento}}$ : índice de desempenho aos 28 dias com cimento Portland (%);

$f_{cB}$ : resistência média dos corpos-de-prova aos 28 dias moldados com areia normal, água e 25% de material pozolânico em substituição ao cimento CP II-F-32, em porcentagem (MPa);

$f_{cA}$ : resistência média dos corpos-de-prova aos 28 dias moldados com areia normal, água e cimento CP II-F-32 (MPa).

### 3.3.2.2 Resistência à tração na flexão

As indicações para a realização do ensaio experimental de resistência à tração na flexão se encontram na NBR 13279 (ABNT, 2005). Como dito anteriormente, para cada ensaio foram moldados três corpos-de-prova de cada mistura, então, para este ensaio, necessitou-se de doze corpos-de-prova prismáticos que foram mantidos em laboratório até às idades de rupturas, sendo elas em 7, 14 e 28 dias.

Desta forma, para determinar o valor da resistência à tração na flexão, foram realizados os ensaios com o equipamento disponível no LATEC, conhecido como

máquina universal (Figura 25). Após, substitui-se na Equação 6 a seguir o valor médio da carga aplicada no centro do corpo-de-prova (prisma).

Figura 25 - Ruptura dos corpos de prova à tração na flexão



Fonte: da autora (2020).

Equação 6 - Resistência à tração na flexão (MPa)

(Eq. 6)

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3}$$

Onde:

R<sub>f</sub>: resistência à tração na flexão (MPa);

F<sub>f</sub>: carga aplicada no centro do corpo-de-prova (N);

L: distância entre os suportes (mm).

### 3.3.2.3 Resistência à compressão axial

Os ensaios foram realizados nas idades de sete, quatorze e vinte e oito dias, sendo que, para cada idade, registrou-se os valores de resistência de três corpos de prova para cada traço, para que posteriormente fosse calculada a média. Segundo as premissas da NBR 13279 (ABNT, 2005), deve-se utilizar as metades dos corpos de prova prismáticos rompidos para o ensaio de resistência à tração na flexão e submeter ao ensaio de resistência à compressão axial.

Após a realização do ensaio, os dados e valores obtidos no ensaio de resistência à compressão axial (Figura 26) foram substituídos na Equação 7.

Figura 26 - Ruptura dos corpos de prova à compressão axial.



Fonte: da autora (2020).

Equação 7 - Resistência à compressão

(Eq. 7)

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

R<sub>c</sub>: resistência à compressão (MPa);

F<sub>c</sub>: carga máxima aplicada no ensaio (N);

### 3.3.2.4 Capilaridade

Para definir a absorção de água por capilaridade dos corpos-de-prova foram utilizadas as boas práticas e indicações da NBR 15259 (ABNT, 2005), sendo este ensaio também realizado nas dependências do LATEC. Desta forma, necessitou-se das seguintes aparelhagens: cronômetro, balança com resolução de no mínimo 0,01 gramas e mínimo de 500 gramas de capacidade, recipiente que receba os corpos-de-prova durante a imersão em água entre outros.

Com os corpos-de-prova (prismáticos) curados nas diferentes idades 7,14 e 28 dias, foram realizadas as pesagens dos mesmos, determinando as suas massas.



Após, os prismas foram introduzidos sobre uma camada de cinco milímetros de água pelo tempo de dez minutos (Figura 27). Após este processo, foi necessário realizar a pesagem novamente dos prismas para que, então, fossem colocados novamente em água por noventa minutos. Por fim, foi necessário realizar a terceira pesagem dos prismas, obtendo assim, os valores que foram aplicados na Equação 8.

Figura 27 - Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: da autora (2020).

Equação 8 - Absorção de água por capilaridade

(Eq. 8)

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16}$$

Onde:

$A_t$ : absorção de água por capilaridade para cada tempo ( $\text{g}/\text{cm}^2$ );

$m_t$ : massa do prisma para cada tempo (g);

$m_0$ : massa inicial do prisma (g);

$t$ : tempo de 10 e 90 minutos (s).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

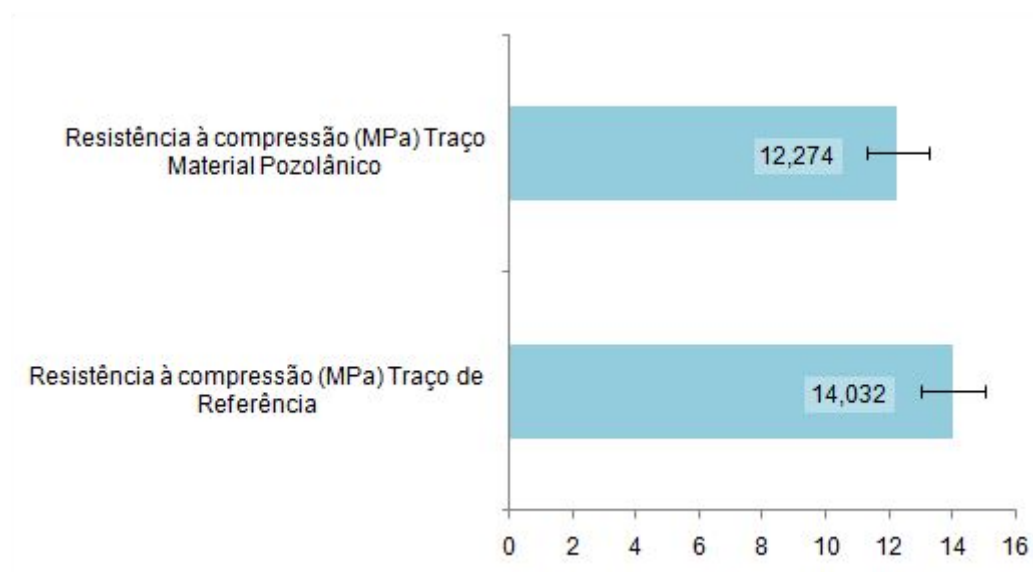
### **4.1 Ensaio de Índice de desempenho aos 28 dias**

Para constatar se o vidro moído utilizado no estudo realmente era um material que apresentava influência na atividade pozolânica com as propriedades ao qual foi submetido às substituições das diferentes dosagens, realizou-se o ensaio regido pela ABNT NBR 5752 –Materiais Pozolânicos - Determinação de índice de desempenho com Cimento Portland aos 28 dias.

De acordo com a norma NBR 12653 (ABNT, 2014), para que o vidro moído seja considerado um material influente na reação pozolânica, o mesmo deve atingir um índice de atividade pozolânica igual ou superior a 90%. Desta forma, através dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias das dosagens com vidro moído e sem o mesmo, foi possível chegar ao percentual de índice de atividade pozolânica de 87,47%. Mesmo o índice encontrado estando próximo ao limite de IAP exigido pela norma, a mesma indica que há inexistência de índice de atividade pozolânica do vidro moído com as propriedades estudadas. Tais valores estão ilustrados no Gráfico 4.



Gráfico 4 - Valores médios de resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: da autora (2020).

Tal fato está relacionado às resistências à compressão inferiores dos traços de 20% e 30% em relação ao traço de referência, sendo que as resistências positivas do traço de 10% de substituição podem estar relacionadas ao melhor preenchimento da mistura, diminuindo os vazios das argamassas estudadas, garantindo um material mais resistente e durável.

## 4.2 Índice de consistência

Para a obtenção dos valores dos ensaios de índice de consistência para a argamassa de referência e para cada argamassa com diferentes teores de vidro moído em substituição ao agregado miúdo foram consideradas a média de 3 ensaios. Os resultados estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Índice de consistência das argamassas estudadas

Teor de substituição	0%	10%	20%	30%
Índice de Consistência (mm)	280	275	266	261
Água/Cimento	0,7	0,7	0,7	0,7

Fonte: da autora (2020).

Através da análise dos valores, pode-se observar que conforme ocorreu o aumento do teor de substituição de areia por vidro moído houve uma pequena queda na trabalhabilidade das argamassas em comparação à argamassa de referência, visto que a relação água/cimento se manteve rigorosamente fixa para todas as argamassas. Segundo Silva e Campiteli (2016), o fato está relacionado ao aumento da substituição, visto que o vidro moído apresenta partículas que consomem uma maior quantidade de água do que as partículas da areia pelo fato de que o mesmo contém uma maior quantidade de finos e quando incorporados em maior quantidade apresentam uma área superficial maior de partículas absorventes, consequentemente quanto maior for a substituição, maior a quantidade de água necessária para a hidratação. Ainda, segundo Carasek (2007) o índice de consistência é influenciado pela forma e textura superficial dos grãos. Tal fato é confirmado pela autora através da análise do módulo de finura do vidro moído e da areia, o qual apresentou uma variação de -5,97%.

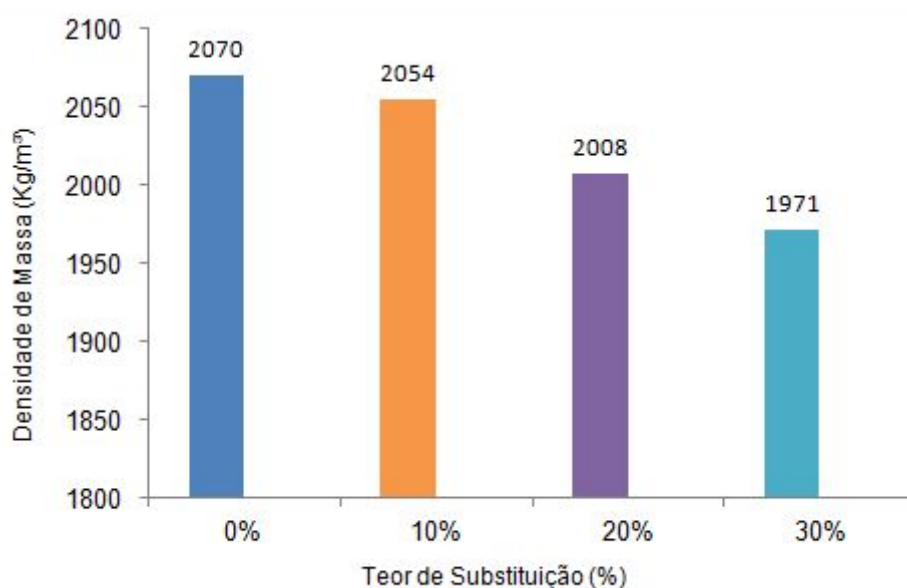
Desta forma, não foi definido um espalhamento desejado para a moldagem dos corpos de prova, sendo o propósito deste ensaio a avaliação da influência das diferentes porcentagens de substituição de areia por vidro moído nas consistências das argamassas, assim, através dos resultados, sabe-se que as argamassas obtiveram espalhamentos de 280 +/- 20 milímetros. Desta forma, para garantir espalhamentos iguais entre as argamassas, seria necessário que o módulo de finura do vidro moído e da areia fossem iguais. Já no caso das argamassas estudadas, para que os espalhamentos fossem iguais, seria necessário realizar pequenas

alterações na relação água/cimento na ordem de décimos (visto que os espalhamentos demonstraram tendência à redução, porém com valores muito próximos uns dos outros).

### 4.3 Densidade

Os valores obtidos no ensaio de densidade estão ilustrados no Gráfico 5. Percebe-se que de acordo com o aumento do teor de substituição de agregado miúdo por vidro moído, a densidade de massa das argamassas apresenta tendência a reduzir. Desta maneira, os resultados encontrados neste ensaio corroboram com os encontrados por Penacho (2012) e Silva (2006).

Gráfico 5 - Densidade de massa



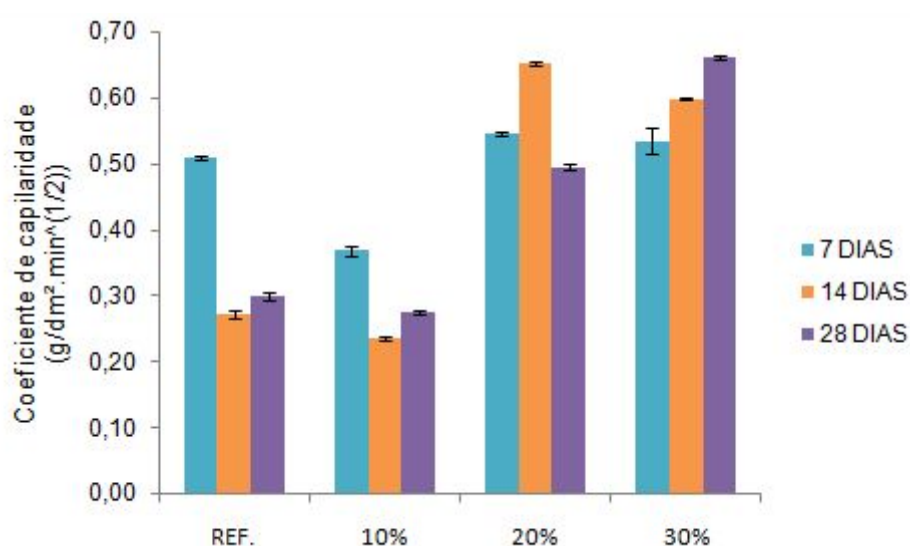
Fonte: da autora (2020).

A diminuição das densidades de massas de acordo com o aumento das porcentagens de substituição de areia por vidro moído, conforme ilustra o Gráfico 5, justifica-se pelo fato de que a massa específica da areia é maior do que a massa específica do vidro moído. No comparativo entre a argamassa de referência e a argamassa com 30% de substituição de areia por vidro moído notou-se uma variação máxima da densidade de -4,78%.

#### 4.4 Absorção de água por capilaridade

A determinação do coeficiente de capilaridade através dos valores de absorção de água ocorreu através da média de 3 valores de corpos de prova submetidos ao ensaio aos 7, 14 e 28 dias de cura, conforme demonstrado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Gráfico dos coeficientes de capilaridade aos 7, 14 e 28 dias



Fonte: da autora (2020).

De acordo com a Gráfico 6, aos 7 dias o teor de 10% foi o que apresentou o menor coeficiente de capilaridade entre todos os traços e já aos 14 e 28 dias de cura foi possível identificar que as argamassas de referência e as com teor de 10% de substituição são as que apresentam uma matriz menos porosa e com maior estanqueidade em comparação com as dosagens de 20% e 30% de substituição, sendo que este fato está relacionado com a porosidade das matrizes cimentícias de ambas as dosagens e durabilidade do produto final.

Os coeficientes de capilaridade do teor de 10% de substituição aos 14 e 28 dias são estatisticamente equivalentes aos do traço de referência, segundo a

ANOVA, indicada na Tabela 6, onde o valor de “F” é menor do que o valor de “Fcrítico”, ou seja, ambos os teores são estatisticamente iguais, sendo que tal fato pode estar relacionado com o empacotamento das partículas, garantindo maior estanqueidade das matrizes cimentícias.

Tabela 6 - ANOVA das absorções de água por capilaridade aos 14 e 28 dias referente aos traços de referência e com 10% de substituição das argamassas estudadas

RESUMO					
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variancia	
0	3	1,08	0,36	0,017	
10	3	0,89	0,297	0,004	

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,006	1	0,006	0,559	0,496	7,709
Dentro dos grupos	0,043	4	0,011			
Total	0,049	5				

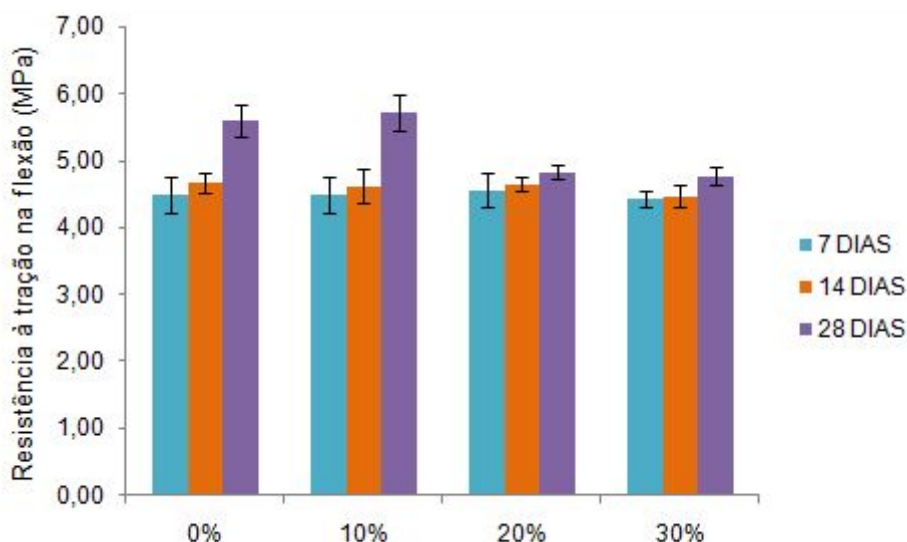
Fonte: da autora (2020).

De acordo com Silva e Campitelli (2016), a absorção de água por capilaridade, bem como o coeficiente de capilaridade estão relacionados com o volume de penetração de água em um corpo de prova, sendo que o mesmo é influenciado pelo tamanho, forma e rugosidade dos grãos presentes na mistura, ou seja, quanto menor a partícula capilar, maior será a absorção. Desta forma, tal fato explica-se pois a relação água/cimento foi fixada para todos os teores, fazendo com que possivelmente as argamassas com 20% e 30% de substituição apresentassem falta de pasta de cimento para cobrir toda a área superficial dos grãos, visto a crescente inserção de material fino na mistura, resultando em um produto final mais poroso e menos resistente, o que é confirmado também pelo ensaio de resistência à compressão das argamassas.

#### 4.5 Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a normativa NBR 13279 (2005) nas idades de 7, 14 e 28 dias foram ensaiados 3 corpos de prova para cada idade e traço. O Gráfico 7 apresenta os valores ilustrados para melhor visualização. É possível identificar que na idade de 7 dias, os traços de 10%, 20% e 30% obtiveram resistências equivalentes ao traço de referência, o mesmo ocorreu aos 14 dias de cura, sem ganhos e nem perdas de resistências significativas de acordo com ANOVA. Porém, na idade de 28 dias, o traço com maior resistência foi o de 10%, seguido pelo traço de referência, sendo que os teores de 20% e 30% de substituição apresentaram os menores valores de resistência. Tal fato pode estar relacionado com a estabilização do ganho de resistências das argamassas com vidro moído aos 28 dias, bem como a inexistência de influência pozolânica de acordo com a moagem de vidro utilizada.

Gráfico 7 - Resistências à tração na flexão aos 7, 14 e 28 dias



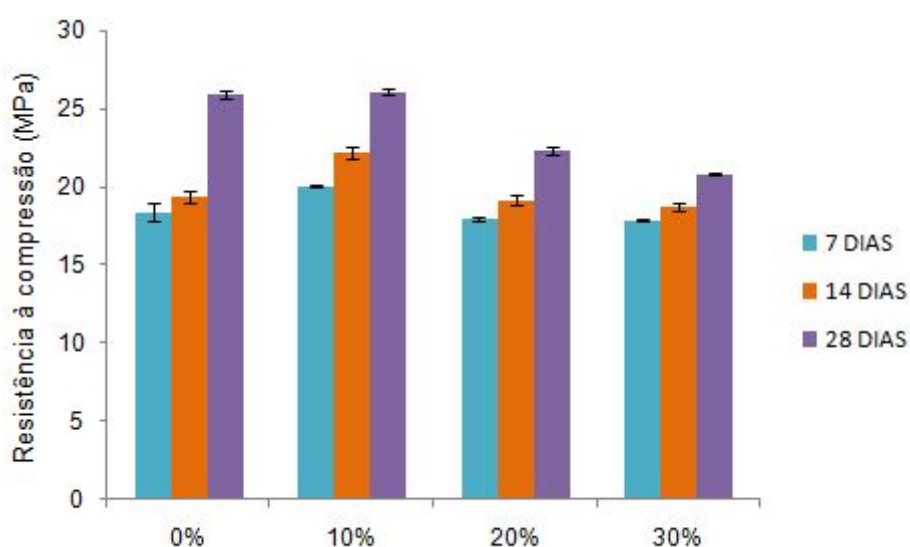
Fonte: da autora (2020).

Ainda, ao analisar os resultados, percebe-se que todos os traços obtiveram acréscimos em suas resistências aos 28 dias em relação às suas resistências aos 7 dias, apesar de apresentarem resistências inferiores às do traço de referência aos 28 dias, com exceção do teor de 10%.

#### 4.6 Ensaio de resistência à compressão

À resistência à compressão para as três idades de um mesmo traço estão apresentadas pelo Gráfico 8. Observa-se que aos 7 e 14 dias de cura o traço com 10% apresentou resistência mecânica à compressão ligeiramente superior ao traço de referência, porém, aos 28 dias o mesmo apresentou resistência equivalente ao traço de referência, sem ganhos significativos. Ainda, é possível observar que nas idades de 7, 14 e 28 dias o traço de 20% de substituição obteve valores ligeiramente inferiores ao traço de referência, não apresentando ganhos em nenhuma das idades em comparação ao traço de referência. O mesmo ocorreu para o traço de 30% aos 7 e 14 dias de cura, apresentou resistência equivalente ao traço de 20% e por fim, aos 28 dias de cura o mesmo apresentou resistência ligeiramente inferior ao traço de referência.

Gráfico 8 - Resistência à compressão das argamassas estudadas



Fonte: da autora (2020).

A partir do traço de referência, aos 28 dias de cura nota-se um crescimento de 0,54% do traço de 10% e uma redução de 14,033% para o traço de 20% e 19,68% para o traço de 30%. Desta forma, a crescente inserção de vidro moído com a granulometria estudada pode ter atingido um valor ideal na dosagem de 10%, melhorando o preenchimento de vazios da mistura.

Assim, a fim de verificar se houve ganhos e/ou perdas significativas nas misturas de argamassas, submeteu-se os valores de resistências aos 28 dias de todas as dosagens ao teste ANOVA, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias das argamassas estudadas

RESUMO					
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variação	
0	3	78,03	26,01	0,0289	
10	3	78,45	26,15	0,0469	
20	3	67,09	22,36333	0,086433	
30	3	62,68	20,89333	0,013233	

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	62,72276	3	20,90759	476,6167	2,35E-09	4,066181
Dentro dos grupos	0,350933	8	0,043867			
Total	63,07369	11				

Fonte: da autora (2020).

De acordo com a Tabela 7, é possível verificar que F apresentou um valor consideravelmente maior que o F crítico, o que indica que os valores de resistência à compressão na idade de 28 dias são estatisticamente diferentes. De acordo com ANOVA o teor de 10% de substituição é estatisticamente igual ao traço de referência, indicando que não houve perdas e nem ganhos significativos para este teor. Já para os teores de 20% e 30% os valores são consideravelmente inferiores do que os do traço de referência, indicando que para estas duas dosagens houve uma queda nas resistências mecânicas à compressão.

A diminuição das resistências para as maiores substituições de areia por vidro moído pode estar relacionada à relação água/cimento que manteve-se fixa no preparo das misturas. De acordo com Martins (2008), conforme há o aumento do teor de finos nas misturas, maior deve ser a quantidade de pasta de cimento a fim de preencher os vazios. Desta forma, o decréscimo nas resistências das



argamassas estudadas pode estar relacionado com a falta de pasta de cimento para cobrir a área superficial de todos os agregados presentes nas argamassas e por fim, tal fato também está ligado à inexistência de influência pozolânica no material com sua respectiva granulometria estudada, a qual é comprovada através do ensaio de Índice de Desempenho aos 28 dias.

Os resultados obtidos corroboram com os já apresentados por Kou e Poon (2009), os quais analisaram a substituição de agregado miúdo por vidro moído nas porcentagens de 15%, 30% e 45% em misturas cimentícias, com o objetivo de avaliar possíveis reações álcali-sílica (RAS). Desta forma, a pesquisa dos autores demonstrou que todos os traços de substituição apresentaram resultados desfavoráveis quando comparados ao traço de referência, ou seja, com o aumento do teor de substituição, houve decréscimo nos valores de resistências à compressão. Segundo eles, tal fato pode estar relacionado com a granulometria utilizada de vidro moído.

## 5 CONCLUSÕES

Alguns autores indicam que o índice de atividade pozolânica pode se desenvolver ao longo das idades, podendo haver o aumento do teor de IAP. Porém, de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014), o vidro moído utilizado na pesquisa não apresentou tais características aos 28 dias. Desta forma, a inexistência da influência na pozolanicidade do vidro moído indica a ausência de propriedades aglomerantes.

O módulo de finura do vidro moído sendo menor do que o módulo de finura do agregado miúdo influenciou na trabalhabilidade das misturas à medida em que houve o aumento da porcentagem de substituição, visto que a relação água/cimento se manteve fixa para todos os teores.

Aos 28 dias a resistência à tração na flexão das argamassas de referência e com 10% de substituição equivalem-se, de acordo com ANOVA, ou seja, não houve ganhos e nem perdas significativas de resistência. Já para os teores de 20% e 30% de substituição, ambas apresentaram resistências mais baixas quando comparados ao traço de referência. As resistências à compressão aos 28 dias dos traços com 20% e 30% obtiveram valores inferiores em comparação às do traço de referência, sendo que o teor de 10% segundo a ANOVA apresentou valor estatisticamente igual à do traço de referência nesta idade.

Sobre o ensaio de absorção de água por capilaridade, notou-se que os valores dos coeficientes de capilaridade das argamassas de referência e com 10% de substituição foram semelhantes. Já para os teores de 20% e 30% tais parâmetros

apresentaram resultados superiores, o que está diretamente ligado à característica de durabilidade das estruturas.

De forma geral, os resultados encontrados indicam que a substituição do agregado miúdo pelo vidro moído pode ter atingido um valor ideal aos 10%. Para as dosagens com 20% e 30% de substituição, a relação água/cimento fixa pode ter dificultado o cobrimento das partículas decorrente da possível falta de pasta cimentícia, o que implicou no aparecimento de vazios para estes teores e consequentemente perda de resistência mecânica.

Sendo assim, os resultados indicam que é possível utilizar o vidro moído em substituição ao agregado natural, mesmo que em pequenas porcentagens. Ainda, deve-se citar que o reaproveitamento de garrafas do tipo *long neck* não retornáveis contribui com o desenvolvimento sustentável e ainda, a utilização do resíduo em substituição ao agregado miúdo natural contribui com a diminuição da exploração e manutenção dos recursos ambientais finitos.

Para pesquisas futuras, sugere-se que sejam investigadas as mesmas propriedades analisadas neste estudo, porém realizando alterações na relação água/cimento, o que irá permitir o cobrimento das partículas de vidro pela pasta de cimento. Ainda, pode-se analisar a incorporação de resíduos de vidro com granulometrias inferiores do que a utilizada neste estudo. Por fim, sugere-se que sejam realizadas análises com o objetivo de verificar se tal substituição é economicamente viável em misturas de cimento Portland.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P.; PERUZZI, A. de P.; DIAS, J. F; da SILVA, T. J. **Verificação das atividades pozolânicas do pó de resíduo de vidro em argamassas cimentícias**. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2011, Florianópolis. Anais. Florianópolis: IBRACON, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737: **Cimentos Portland resistentes a sulfatos**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto –Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto –Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: **Materiais pozolânicos —Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: **Materiais pozolânicos —Requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto -Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó-Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: **Agregados –Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo -Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados -Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Saint-Gobain **Vidros Brasil**. Centro Técnico de Elaboração do Vidro –CETEV, 2000. 37 f.  
Disponível: <[https://www.academia.edu/5290110/Natureza\\_Estrutura\\_e\\_Propriedades\\_do\\_Vidro\\_Natureza\\_Estrutura\\_e\\_Propriedades\\_do\\_Vidro](https://www.academia.edu/5290110/Natureza_Estrutura_e_Propriedades_do_Vidro_Natureza_Estrutura_e_Propriedades_do_Vidro)>. Acesso em: 07 abr. 2020.

BARDINI, I. S.; MARCHIORO, T. B. **Um estudo exploratório do uso de vidro reciclado como agregado de concretos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2007.

BUTTLE, A. M.. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 535 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.

CABRAL, S. C. BARCELOS, Jessica Luciano. COUTO, Samuel Hussin. MONTEIRO, Sergio Neves. **Confecção de concreto estrutural leve substituindo parte dos agregados graúdos por argila expandida**. 2016. Artigo apresentado no 60º Congresso Brasileiro de Cerâmicas. São Paulo

CABRAL, S. C. AZEVEDO, Marina Álvares de. **Materiais alternativos para adição ao cimento Portland**. 2016. Artigo publicado na revista científica "Vozes dos Vales". Minas Gerais.

CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**: 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC; 2002.

CARASEK, H. **Patologia das argamassas de revestimento**. In: Isaia, G.C. (Org.) **Materiais de Construção e Princípios de Ciência em Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, p. 1-11.

CRENTSIL, K. S., BROWN, T., TAYLOR, A., **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**, Ed. Eco-Recycled Australia and CSIRO, 2001.

DALLAQUA, B. **Desenvolvimento de embalagem conceito para cerveja artesanal inspirada em art déco**. 2016. 94 f. Monografia (Graduação) – Curso de Design, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2016.

DINIZ, E. M., BERMANN, C. **Economia Verde e Sustentabilidade**. São Paulo, vol. 26, 2012, dezembro de 2012.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FÁVERO, R. B. **Avaliação da utilização de sucata de vidro como adição mineral frente à sílica ativa e como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento**. 2009. 79 f. Trabalho de Diplomação (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

IDIR, R.; CYR, M. A. **Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars**. Construction and Building Materials. 2012.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil –contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento** 113p. Tese (Livre Docência)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

KARAMBERI A, MOUTSATSOU. A. **Influence of glass cullet in cement pastes**.China Particuology. China, 2006.

KOU, S. C.; POON, C. S. **Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate**. Cement and Concrete Composites, v. 31, 2009.

MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. **Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura**. Anais das XXXII Jornadas Sul-americanas de Engenharia Estrutural. Campinas – São Paulo. 2006.

MARTINS, P. B. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. 2008. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

MATOS, A. M. **Estudo de argamassas com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moídos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 2010.

MATOS, A. M.; SOUSA-COUTINHO, J. **Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement**. Construction and Building Materials, v. 36, 2012. p. 205-215.

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto, Microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed .São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MEYER, C., Y. Xi, J. Mater. in Civil Eng. ASCE 11, 2 (1999).

MINGRONE, R. C. C. **Sustentabilidade na construção civil: análise comparativa dos conceitos empregados em obras segundo as certificações AQUA-HQE e LEED**. 2016. 69f. Trabalho de conclusão de curso –Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

NETTO, R. M.. **Materiais Pozolânicos**. 2006. 149 f. TCC (Graduação) - Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. PINI, São Paulo, n. 2, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. FALCÃO BAUER, L. A. (coord). **Materiais de Construção**. v. 1. 5 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2005.

OZKAN, O; YUKSEL, I. **Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products**. Construction and Building Materials, nº 22, p. 1288-1298, 2008.

PAIVA, O. A.; CORDEIRO, G. C.; ROCHA, F. S.; LIMA, S. P. B.; VASCONCELOS, R. P.; CRENTSIL *et al.*, 2001). LHO, R. D.T. **Aplicação de resíduos ultrafinos de vidro moído em argamassa de cimento Portland**. In: 52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2010, Fortaleza. Anais. Fortaleza: IBRACON, 2010.

PENACHO, P. M. **Desempenho de argamassas com incorporação de resíduos finos de vidro: Reciclagem de agregados (RCD) e reacção álcalis-sílica (RAS)**., Lisboa, 2012.

PEREIRA, F. R. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composição cerâmicas e cimentícias**. Departamento de Engenharia Cerâmica e do vidro, 2006.

PILKINGTON. **Entendendo o vidro**. 2010. Disponível em: < [vidrado.com/loja/blog/noticias/artigos/entendendo-o-vidro](http://vidrado.com/loja/blog/noticias/artigos/entendendo-o-vidro) >. Acesso em: 07 abr. 2020.

PINTO, T. P. et al. Ministério das Cidades. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios**. v. 1. 196 p. Brasília: Caixa, 2005.

RIBEIRO, A. O.. **Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland**. 2015. 86 f. Dissertação. (Pós Graduação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RIGHI, D.; KÖHLER, L.; TABARELLI, A.; KIRCHHOF, L.; LIMA, R. **Análise de concretos produzidos com vidro moído quando submetidos a elevadas temperaturas**. 2012. Artigo apresentado na XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural.



ROMANO, A.S. **Vidro**. Iniciação Científica (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SALES, M. W. R. **Conector de cisalhamento tipo pino com cabeça para viga mista aço-concreto com laje alveolar**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

SALOMÃO, M. C. F. **Estudo sobre a utilização de resíduo de vidro em argamassas cimentícias**. Fortaleza, 2010.

SANTOS, P.D.S. **Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante**. 2016. 135 f. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos Dos Goytacazes -Rio de Janeiro.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil**. In: Cobrac — Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC, de 10 a 14 de outubro de 2004.

SHAO, Y.; LEFORT, T.; MORAS, S.; RODRIGUEZ, D. **Studies on concrete containing ground waste glass**. Cement and Concrete Research. Elmsford, 2000.

SHI, WU Y, RIEFLER C, WANG H. **Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders**. Cement and Concrete Research, v. 35, 2005.

SICHERI, E. P.; CARAM, Rosana Maria; SANTOS, Joaquim Cesar Pizzutti. **Vidros na construção civil: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**, 2007.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C.. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Florianópolis -SC, ago/2016.p. 4349-4358.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil –PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia. Curitiba –PR: Universidade Federal do Paraná, 2006.

SILVEIRA, N. C. G. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro na produção de argamassa**. 2016. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Belo Horizonte, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, curso de Engenharia de Materiais, 2016.

SIMÕES, L. J.; **Estudo da aplicação de resíduo de vidro laminado na produção de concreto**. 2013. 142 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado**. 2006. 180 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VELLOSO, M. P. **Os restos na história: percepções sobre resíduos**. Rio de Janeiro, vol. 13, dezembro de 2008. Disponível em:  
<[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext & pid=S1413-81232008000600031](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232008000600031) & lng= en & nrm= iso & tlng=pt>.

VIAN, D. **Análise do comportamento mecânico e durabilidade de concretos produzidos com vidro moído**. 2018. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado-RS, 2018.



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09